Для служебного пользования
Экз. № 16613

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ СССР

ЧАСТЬ 1

ЭЛЕКТРО-ОБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИКА БРОНЕТАНКОВОЙ ТЕХНИКИ

УЧЕБНИК

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ СССР

УТВЕРЖДЕН
Главнокомандующим
Сухопутными войсками
3 июля 1971 г.

Для служебного пользования

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИКА БРОНЕТАНКОВОЙ ТЕХНИКИ

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ОСНОВЫ ТЕОРИИ И КОНСТРУКЦИИ

Под редакцией
профессора А. С. БЕЛОНОВСКОГО

Ордена Трудового Красного Знамени
ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СССР
МОСКВА — 1972

Учебник «Электрооборудование и автоматика бронетанковой техники» предназначен для курсантов высших общевойсковых и высших командных училищ, высших танко-технических училищ и слушателей командных факультетов академий и офицерских курсов. Он может быть использован в других командных училищах Сухопутных войск, а также офицерами-танкистами в их практической работе.

В Учебнике изложены процессы и явления, поясняющие принцип действия элементов электрооборудования и рабочие процессы систем в целом, описаны конструкции основных электрических приборов, аппаратов и машин бронетанковой техники, а также изложены основные сведения по их эксплуатации.

Учебник написан коллективом преподавателей Военной ордена Ленина Краснознаменной академии бронетанковых войск имени Р. Я. Малиновского профессором А. С. Белоновским, доцентом кандидатом технических наук Л. П. Кузьминым, кандидатом технических наук В. К. Пресновым, доцентом кандидатом технических наук Л. Р. Шутым.

При разработке учебника были использованы материалы ранее изданных учебников и учебных пособий, написанных авторами, а также преподавателем академии Р. А. Нестеровым.

Большую работу по подготовке иллюстративного материала выполнил доцент кандидат технических наук М. М. Лихачев.

Рукопись учебника просмотрена коллективом преподавателей под руководством полковника-инженера Ф. А. Шульгина, полковником-инженером А. Г. Шевяковым, подполковником-инженером Г. Н. Желновым и майором-инженером В. С. Каменевым.

За все замечания по содержанию и методике изложения материала коллектив авторов приносит им свою искреннюю благодарность.

Все предложения и замечания по улучшению Учебника будут с благодарностью приняты авторским коллективом.

Перед пользованием Учебником внести следующие исправления

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
2	2 сверху	высших командных	высших танковых командных
73	24 сверху	магнитопровод *3*, якоря *4*	магнитопровод *3*), якоря *4*
78	1 снизу	не менее 1 *в*	менее 1 *в*
111	10 снизу	обойме *1* (статоре	обойме *1* (статоре)

Изд. № 5/5494дсп. Зак. 571дсп

В книге пронумеровано 340 страниц.

ВВЕДЕНИЕ

Роль бронетанковой техники в современных условиях, когда войска располагают оружием массового поражения, значительно возрастает.

Высокая маневренность, надежная броневая защита и оборудование танков, бронетранспортеров, гусеничных и колесных боевых машин специальными автоматическими системами обеспечивают сравнительно малую их уязвимость от поражающих факторов ядерного оружия. Дальнейшее совершенствование вооружения и приборов управления огнем, автоматизация процесса управления движением и ведением огня — все это значительно повышает боевые свойства и обеспечивает возможность немедленных и успешных действий бронетанковой техники в районах, непосредственно подвергшихся воздействию оружия массового поражения.

Современный танк, а также другие объекты бронетанковой техники немыслимы без автоматики. Благодаря широкому внедрению автоматических систем в послевоенные годы произошел качественный скачок в развитии танков. В свою очередь совершенствование танков, повышение их боевых свойств обеспечивают сухопутным войскам возможность успешно решать все боевые задачи в сложных условиях современного боя.

Поскольку вопросы механизации и автоматизации сравнительно проще, а главное, надежнее решаются с помощью электрических механизмов, то развитие различных объектов бронетанковой техники сопровождается дальнейшей их электрификацией. Современные танки оснащаются все возрастающим количеством электрических машин, приборов и аппаратов. Часть этих машин и аппаратов образует сложные автоматические системы регулирования и управления, другая — более простые автоматические устройства, третья — приводит в действие различные механизмы. Однако все они приводятся в действие электрической энергией.

В последние годы электрическое оборудование получило особенно большое развитие и представляет собой одну из основных систем как по значению, так и по занимаемому объему и весу.

Весьма важное значение приобретают вопросы правильного применения и грамотной эксплуатации сложных автоматических устройств и других элементов электрооборудования.

От исправности систем и надежности работы элементов автоматики и электрооборудования объекта в значительной степени зависит его боеспособность. Дальнейшее развитие бронетанковой техники предусматривает развитие и совершенствование элементов и аппаратов электрооборудования.

Электрооборудование отечественных танков и бронеобъектов разрабатывалось советскими учеными и инженерами.

В первый период развития советского танкостроения на танках применялись карбюраторные двигатели, а легкое вооружение (пулемет или малокалиберная пушка) еще не требовало электрического привода башни. Поэтому в танках того периода устанавливались элементы автомобильного и частично самолетного электрооборудования, а электрическая энергия применялась для тех же целей, что и на автомобиле: для воспламенения рабочей смеси и пуска двигателя, для освещения и питания вспомогательных потребителей. Мощность генератора, стартера и других потребителей электрической энергии была невелика, и поэтому их конструкция копировалась с соответствующих машин и аппаратов электрооборудования автомобилей.

По мере развития конструкции танков создавалось специальное танковое электрооборудование, конструкция приборов и аппаратов которого соответствовала условиям их боевого применения. Так, появление на новых танках предвоенного периода (Т-34 и КВ) мощного дизеля В-2 исключило возможность ручного пуска двигателя и потребовало значительного увеличения мощности стартера. С этой целью был создан мощный танковый стартер СТ-700, отличавшийся оригинальной конструкцией сцепляющего механизма и высокой эксплуатационной надежностью.

С повышением калибра танковых орудий и толщины брони вес танковой башни увеличился. Для облегчения процессов наведения орудия и быстрого поворота башни был установлен электропривод, обеспечивающий вращение башни. Однако точная наводка орудия и спаренного пулемета производилась еще вручную.

Увеличение мощности стартера, а также введение ряда мощных потребителей — электродвигателя механизма поворота башни, радиостанции, внутренней связи и других — вызвало необходимость увеличения мощности источников электроэнергии — генератора и аккумуляторной батареи.

Необходимость повышения эффективности огня танков привела к увеличению калибра танковых пушек и потребовала дальнейшего совершенствования механизмов наведения. Появились системы автоматизированного электропривода танковых башен, а затем и автоматизированные приводы орудия с плавной регулировкой скорости в широком диапазоне, обеспечивающие точное наведение танковой пушки и слежение за целью. Дальнейшее развитие этих систем привело к появлению стабилизаторов танкового вооружения, значительно повысивших эффективность огня танков с ходу.

Боевые качества современных танков — надежная броневая защита, мощная артиллерийская система и автоматизация приборов управления огнем — открывают новую страницу в боевом применении танков.

Необходимость вождения машин в условиях затрудненного ориентирования и плохой видимости при преодолении широких водных преград требует оснащения машин навигационными приборами.

Установка гироскопических полукомпасов, координаторов и другой навигационной аппаратуры позволяет успешно осуществлять и эти задачи.

Широкое применение в современном танке разнообразных электрических машин, приборов и аппаратов, а также оснащение его системами автоматического регулирования и другими устройствами, потребляющими электроэнергию, привело к необходимости значительного увеличения мощности танкового генератора и улучшения схемы электроснабжения. На рис. 1 приведены данные, характеризующие рост мощности танковых генераторов.

Увеличение мощности танковых генераторов потребовало нового решения проблемы регулирования напряжения. При мощности генератора свыше 5—7 *квт* применять обычный вибрационный ре-



Рис. 1. Рост мощности танковых генераторов

гулятор напряжения невозможно, поэтому для таких генераторов были разработаны и выполнены новые схемы бесконтактных регуляторов напряжения с использованием полупроводниковых приборов.

Успешное развитие танкового электрооборудования стало возможным вследствие большой творческой работы по развитию этой новой отрасли электропромышленности.

Работа по дальнейшему развитию вопросов теории и расчета танкового электрооборудования, по созданию принципиально новых схем аппаратов и элементов танковых систем автоматического регулирования продолжается и в настоящее время. Советские ученые, инженеры и конструкторы, работающие в области электрооборудования танков, настойчиво и плодотворно развивают теоретические основы этой науки, создают новые конструкции электрических аппаратов и элементов для танков и танковых систем автоматического регулирования.

Электрическое оборудование бронетанковой техники представляет собой сложный комплекс различных электрических машин, приборов и аппаратов, в принципиальных схемах и конструкции которых учитываются особенности боевого применения и специфические условия работы машины и экипажа. В связи с этим к аппаратам и системам электрического оборудования предъявляются **особые требования**. Рассмотрим важнейшие из них.

1. Аппараты и приборы электрооборудования должны работать в условиях возможного изменения напряжения источников питания в широких пределах (26 ± 3 *в*), а также резко изменяющейся нагрузки. Это необходимо учитывать при подборе и расчете таких элементов, как исполнительные и приводные электродвигатели, реле и контакторы, тяговые реле и электромагниты, приборы освещения и коммутационная аппаратура.

2. Аппараты и приборы электрооборудования должны работать в условиях большого перепада и резких колебаний температуры (от -50 до $+70°$ С), повышенной влажности ($95 \pm 3\%$) и загазованности парами топлива, масла, антифриза, а также при повышенной запыленности.

При резких изменениях температуры создаются благоприятные условия для конденсации паров влаги, вызывающей коррозию незащищенных участков металлических деталей и нарушение электрического контакта вследствие их окисления.

Проникновение внутрь машин и аппаратов паров топлива, масла, антифриза помимо окисления контактов снижает электрическую и механическую прочность изоляционных материалов, что также способствует выходу их из строя.

Для уменьшения вредных последствий этих явлений все металлические детали элементов электрооборудования должны иметь противокоррозионные покрытия, а отдельные приборы и аппараты закрываться герметичными крышками или защитными кожухами.

3. Все элементы системы электрооборудования должны работать в условиях повышенной вибрации мест крепления, тряски и ударных нагрузок, вызываемых работой двигателя, колебанием корпуса машины при движении, а также действием снарядов, осколков и ударной волны, поэтому при конструкции аппаратов и приборов должны учитывать эти особенности работы, а при установке приборов в машине выбирать наиболее благоприятные с этой точки зрения места и крепить их к корпусу с помощью специальных амортизаторов.

4. Работа приборов и аппаратов электрооборудования сопровождается пульсацией напряжения на коллекторах машин постоянного тока, а вибрирующие контакты регуляторов и реле вызывают появление токов высокой частоты, создающих излучение электромагнитной энергии, вызывающей помехи радиоприему. Поэтому электрические машины и аппараты снабжаются фильтрами, защищающими радиоприемное устройство от проникновения помех или локализующими их действие.

5. В условиях возможного применения ядерного оружия необходимо предусмотреть снижение влияния радиоактивного излучения на работу элементов электрооборудования. Наиболее чувствительны к этому излучению полупроводниковые элементы, поэтому при размещении аппаратов электрооборудования в машине следует выбирать для них наиболее защищенные от радиации места.

Кроме того, к электрооборудованию боевых машин предъявляются **специальные требования:**

— быстрая готовность к действию;
— простота ухода и восстановления;
— минимальные габариты и вес.

Как видно из краткого перечисления, требования, предъявляемые к электрооборудованию, являются очень жесткими, однако выполнение их обеспечивает надежную, длительную работу системы электрооборудования танка.

Принципиальные схемы электрооборудования различных типов бронеобъектов практически одинаковы. Они отличаются лишь количеством и мощностью установленных электрических машин, аппаратов и приборов. В качестве примера рассмотрим принципиальную схему электрооборудования танка, показанную на рис. 2.

Электрооборудование современного танка можно подразделить на источники электрической энергии; потребители электрической энергии; контрольно-измерительные приборы и вспомогательную аппаратуру.

Источники электрической энергии. Основным источником электрической энергии в танке является генератор постоянного тока; при работающем двигателе он обеспечивает питание всех потребителей, а также зарядку аккумуляторных батарей.

Вторым источником электрической энергии являются аккумуляторные батареи. Аккумуляторные батареи предназначены для питания потребителей при неработающем двигателе, а также и при работе двигателя в случае включения потребителей, суммарная мощность которых превышает мощность генератора. Таким образом, аккумуляторные батареи являются вспомогательным (ава-

рийным) источником электрической энергии. Генератор и аккумуляторные батареи соединены между собой параллельно.

Танковый генератор работает с переменной скоростью вращения, поэтому для обеспечения постоянства его напряжения применяется автоматический регулятор напряжения.

Для отключения генератора от сети при остановках двигателя и подключения генератора к сети, когда скорость вращения двигателя и напряжение генератора достигают определенного значения, служит автоматический выключатель — автомат обратного тока.

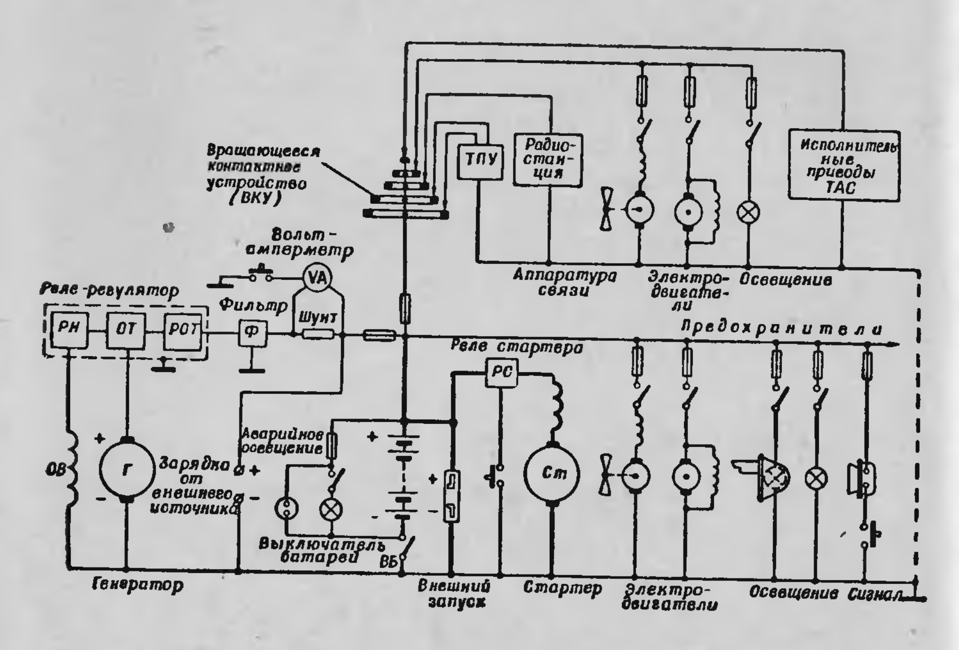


Рис. 2. Принципиальная схема электрооборудования танка

Для предохранения генератора от перегрузок иногда применяется ограничитель тока.

Регулятор напряжения, автомат обратного тока и ограничитель тока размещают в общем корпусе и называют реле-регулятором.

К источникам электрической энергии также относятся установленные в танке преобразователи тока и напряжения.

Потребители электрической энергии. Самым мощным потребителем, установленным в танке, является электрический стартер, ток которого может достигать 2000 *а*. Однако продолжительность работы стартера относительно невелика, поэтому основными потребителями электрической энергии в танке являются системы наведения и стабилизации орудия и башни и системы защиты танка.

В группу относительно мощных потребителей электроэнергии входят электродвигатели вентиляторов, насосов и других вспомогательных механизмов (электроспуски пушки и пулеметов), а также радиостанция и танковое переговорное устройство.

Большую группу потребителей электрической энергии составляют многочисленные приборы освещения танка, приборы световой и звуковой сигнализации. Освещение танка подразделяется на внутреннее (плафоны, фонари, переносная лампа и т. д.), обеспечивающее работу экипажа ночью и днем при закрытых люках, внешнее (фара, габаритные огни и т. п.), допускающее движение танка ночью, и специальное (освещение шкал, прицела, погона башни, уровня пушки и т. д.). В танке имеется аварийное освещение, выполненное по двухпроводной системе и действующее при выключенном выключателе батарей, которое обеспечивает возможность работы в танке при повреждениях в схеме электрооборудования и других авариях.

В бронеобъектах, имеющих карбюраторный двигатель, потребителем электрической энергии является также система батарейного зажигания.

Электрическая сеть. Все потребители подключены к источникам через распределительные устройства (щитки) и имеют индивидуальную или групповую защиту. Для их соединения используются экранированные провода с медными жилами сечением от 1 до 95 $мм^2$.

Проводка выполнена по однопроводной схеме; вторым минусовым проводом является корпус танка — «масса».

Контрольно-измерительные приборы танка обеспечивают контроль за состоянием и работой как системы электрооборудования, так и других систем танка. Обычно в каждом танке установлены следующие приборы:

— вольтамперметр — комбинированный электрический прибор, позволяющий измерять напряжение и ток, что дает возможность оценить состояние источников электрической энергии, а также проверить работу аппаратов реле-регулятора;

— электрический тахометр для измерения скорости вращения коленчатого вала двигателя и электрический спидометр для измерения скорости движения танка;

— электрические термометры и манометры для измерения температуры воды и масла и давления масла;

— счетчик мото-часов для измерения времени работы двигателя танка;

— топливомер для измерения количества топлива в баках.

Вспомогательная аппаратура. К вспомогательной аппаратуре относятся:

— выключатели, переключатели, контакторы, кнопки и др.;

— вращающееся контактное устройство (ВКУ), которое обеспечивает передачу электрической энергии из корпуса танка, где расположены источники электроэнергии, во вращающуюся башню;

— переходные колодки, штепсельные разъемы и др.

В процессе развития и совершенствования конструкции танка и танкового электрооборудования количество потребителей электроэнергии и их мощность возрастают и система электрооборудования усложняется, однако в основном она соответствует изложенной выше классификации.

В системе электрооборудования современных танков широко применяются разнообразные системы автоматического регулирования и управления. Поэтому целесообразно изучение электрооборудования начать с рассмотрения основных принципов построения автоматических систем и их типовых элементов.

РАЗДЕЛ I

ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

§ 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Для управления рабочими процессами в объектах бронетанковой техники применяется большое количество автоматически и полуавтоматически действующих аппаратов и машин. Эти устройства весьма разнообразны по назначению, принципу действия и конструкции. В них сочетаются механические, электрические, гидравлические и другие элементы, составляющие в общем сложный комплекс взаимодействующих звеньев системы.

Все существующие автоматические устройства могут быть разделены на два больших класса: автоматы и системы автоматического регулирования.

Автоматами называются самодействующие устройства, работающие по определенной программе и выполняющие заданные циклические операции, реагирующие на изменение одного или нескольких физических параметров рабочего процесса.

В зависимости от выполняемых функций автоматы подразделяют на автоматы управления, производящие автоматические включения, выключения или переключения машин и механизмов, автоматы контроля и сигнализации, осуществляющие контроль работы и сигнализацию об изменении режима работы механизмов, и автоматы защиты, предохраняющие машины и механизмы от чрезмерных электрических и механических перегрузок.

По принципу действия автоматы могут быть механическими, электрическими, тепловыми и т. д.

Системы автоматического регулирования и управления не только обеспечивают автоматическое протекание процесса, но и реагируют на отклонения от заданного режима работы. Исполнительное устройство системы автоматического регулирования восстанавливает заданный рабочий режим. В системах имеются чувствительные элементы, которые контролируют протекание процесса и в случае отклонения его от заданного режима вырабатывают сигнал управления, воздействующий на регулирующий орган или устройство и восстанавливающий заданный режим.

Чувствительные элементы по точности и быстродействию во многих случаях превосходят органы чувств человека. Их реакция, обеспечиваемая применением электронных и других устройств, неизмеримо быстрее и совершеннее, чем реакция человека. Подобные устройства могут управлять процессом лучше и надежнее, чем человек.

Системы автоматического регулирования (САР) получили широкое развитие, так как их применение наиболее полно решает все задачи автоматизации. Исторически они возникли в результате стремления к автоматизации ручного (неавтоматического) управления.

Рассмотрим в качестве примера схему регулирования напряжения генератора постоянного тока (рис. 0.1).

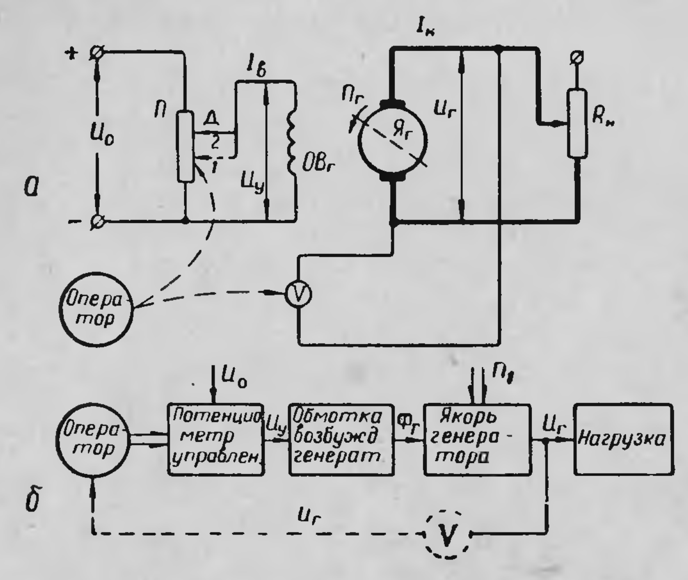


Рис. 0.1. Разомкнутая система регулирования напряжения генератора постоянного тока:
а — электрическая схема; *б* — функциональная схема

Как известно, для обеспечения постоянства напряжения при изменении нагрузки генератора можно изменять скорость вращения якоря или магнитный поток обмотки возбуждения ($ОВ_г$). Будем считать, что якорь генератора вращается с постоянной скоростью ($n_г$=const) и, следовательно, постоянство напряжения обеспечивается только изменением магнитного потока возбуждения. Для этой цели обмотка возбуждения питается от потенциометра *П*; величина напряжения, приложенного к обмотке возбуждения, пропорциональна линейному перемещению движка *Д*.

Для контроля напряжения генератора к его зажимам подключается вольтметр. При отклонении напряжения от заданного перемещением движка *Д* оператор восстанавливает заданную величину напряжения. Если, например, при увеличении нагрузки напряжение генератора уменьшится, то оператор, перемещая движок *Д* из положения *1* в положение *2*, увеличивает ток в обмотке возбуждения, вследствие чего напряжение генератора восстанавливается.

Изменение напряжения генератора также может вызываться различными внешними возмущениями: изменением скорости вращения генератора, изменением нагрузки, изменением напряжения питания потенциометра, колебаниями температуры и т. д.

Во всех случаях независимо от причин, вызвавших изменение напряжения, оператор для обеспечения постоянства напряжения выполняет следующие операции:

— непрерывно следит за показанием вольтметра;

— сравнивает показания вольтметра с заданным значением напряжения;

— при наличии разности между заданной и измеренной вольтметром величиной напряжений перемещает движок потенциометра так, чтобы эта разность стала равной нулю.

На рис. 0.1, *б* приведена так называемая функциональная схема системы неавтоматического регулирования напряжения, где показаны возмущения и взаимные связи между элементами системы и оператором.

Как видно из функциональной схемы, система неавтоматического регулирования является разомкнутой (или замкнутой через оператора). Подобные системы не могут обеспечить достаточной точности регулирования и высокого быстродействия, так как точность регулирования и скорость изменения напряжения при возмущениях определяются индивидуальными качествами оператора и большими быть не могут. Кроме того, беспрерывное наблюдение за показаниями вольтметра утомляет оператора. Указанные недостатки можно исключить, если функции контроля и перемещения движка автоматизировать, т. е. устранить оператора из контура регулирования, заменив его автоматическим устройством.

Для этой цели необходимо связать выход системы с ее входом, т. е. выходную величину (в данном случае напряжение генератора) нужно подать на вход системы — на цепь возбуждения генератора. Этим в схеме будет осуществлена о б р а т н а я с в я з ь[1].

Другими словами, для автоматического поддержания напряжения генератора неизменным необходимо, чтобы движок потенциометра при изменении напряжения генератора перемещался на величину Δx, пропорциональную отклонению напряжения ΔU от заданного значения.

На рис. 0.2 показана схема автоматического регулирования напряжения генератора. В этой схеме к генератору подключена обмотка электромагнита, якорь которого соединен тягой с движком потенциометра.

[1] Обратной связью называется воздействие выходной величины (непосредственно или через какой-либо элемент) на входную величину.

При напряжении генератора, равном заданному, сила притяжения электромагнита уравновешивает силу пружины и движок потенциометра находится в положении 1.

При увеличении нагрузки генератора уменьшается напряжение генератора, а следовательно, и сила электромагнита, и под действием пружины движок начинает перемещаться вверх. Когда напряжение генератора достигнет заданного значения, движок должен остановиться, так как при этом сила электромагнита становится равной силе пружины.

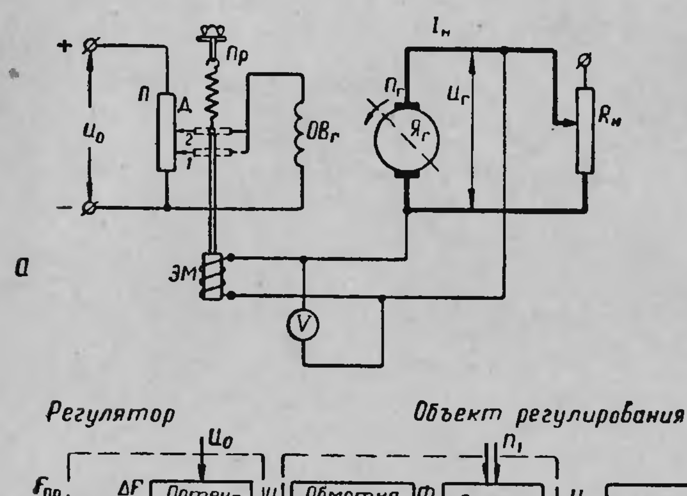




Рис. 0.2. Замкнутая система регулирования напряжения генератора постоянного тока:
а — электрическая схема; *б* — функциональная схема

Поскольку процесс изменения напряжения и силы электромагнита происходит во времени, то движок может продолжать перемещаться вверх; при этом напряжение генератора возрастет, сила электромагнита станет больше силы пружины, движок начнет снова двигаться вниз и процесс будет повторяться; движок может несколько раз перейти заданное положение. Через некоторый промежуток времени процесс регулирования закончится, напряжение генератора станет примерно равным заданному.

При уменьшении нагрузки генератора процесс протекает аналогично: напряжение генератора стремится возрасти, увеличится сила электромагнита, движок переместится вниз и напряжение генератора останется примерно равным заданному. Таким образом влияние возмущающих воздействий на величину напряжения генератора автоматически компенсируется.

Взаимодействие элементов схемы автоматического регулирования показано на рис. 0.2, *б*. Как видно из функциональной схемы, вследствие того что обмотка электромагнита подключена к зажимам генератора, вход и выход системы связаны между собой обратной связью; получился замкнутый контур регулирования.

Отклонение регулируемой величины от заданного значения преобразуется в управляющий сигнал, который воздействует на вход системы. Система автоматически начинает действовать в тот момент, когда появится отклонение регулируемой величины, и действует всегда так, чтобы уменьшить это отклонение.

Рассмотренный принцип регулирования называется регулированием по отклонению. При использовании этого принципа регулирования система всегда имеет обратную связь, так называемую главную обратную связь, образующую замкнутый контур регулирования.

Выделим основные элементы системы автоматического регулирования:

1. Объект регулирования — прибор, аппарат, машина или какой-либо другой механизм, один или несколько параметров которого регулируются, т. е. являются регулируемыми величинами. В нашем примере объектом регулирования является генератор, регулируемой величиной — напряжение генератора.

2. Регулятор — комплекс связанных друг с другом приборов и аппаратов, посредством которых осуществляется регулирование.

Регулятор простейшей системы включает:

— измерительное устройство — чувствительный элемент, реагирующий на отклонение регулируемой величины; в нашем примере — это электромагнит;

— регулирующее устройство — приборы и аппараты, воздействующие через исполнительное устройство на режим работы регулируемого объекта; в нашем примере регулирующим устройством является потенциометр с движком, связанный тягой с электромагнитом.

Кроме основных элементов в регулятор могут входить:

— преобразователи сигналов, которые, кроме измерения регулируемой величины, преобразуют сигналы; для этой цели необходим специальный преобразующий элемент;

— усилительные устройства, предназначенные для усиления сигнала по мощности, применяются в том случае, если мощность сигнала на выходе измерительного устройства недостаточна для приведения в действие исполнительного устройства.

Системы регулирования такого типа называются системами косвенного (непрямого) действия.

Таким образом, система автоматического регулирования состоит из объекта регулирования и регулятора (на рис. 0,2, *б* обведен пунктиром), реагирующего на изменение регулируемой величины,

и имеет замкнутую цепь воздействий. Обязательным условием осуществления регулирования является наличие обратной связи, соединяющей выход системы со входом. Кроме того, могут быть дополнительные связи, обусловленные физическими процессами, происходящими в элементе системы — например, влияние тока нагрузки генератора на магнитный поток.

По характеру действия обратные связи бывают жесткие и гибкие. Действие жесткой обратной связи пропорционально выходной величине; действует она как в переходном, так и в установившемся режиме. Воздействие гибкой обратной связи пропорционально скорости изменения выходной величины; поэтому она действует только в переходных режимах, т. е. в режимах изменения регулируемой величины.

По характеру изменения управляющего сигнала обратные связи бывают положительными и отрицательными. Положительная обратная связь увеличивает, а отрицательная обратная связь уменьшает управляющий сигнал.

Обратные связи могут быть выполнены по любому параметру — по току, напряжению, скорости, давлению, перемещению и т. д., но во всех случаях сигнал на выходе обратной связи по своей физической природе должен быть таким же, как и сигнал, с которым он суммируется. Обратные связи могут осуществляться с помощью электрических, механических и других соединений; в нашем примере (рис. 0.2) мы имеем жесткую отрицательную обратную связь по регулируемому параметру — напряжению генератора.

Следует подчеркнуть, что в системе с регулированием по отклонению происходит одновременная компенсация всех возмущений, действующих на объект и на регулятор, вызывающих изменение заданного значения регулируемой величины.

В рассмотренном примере стабилизация напряжения происходит не только при изменении нагрузки генератора — основного возмущения, но и при колебаниях скорости вращения генератора, при изменении напряжения питания потенциометра, температуры окружающей среды и т. д.

Одновременная и автоматическая компенсация влияния на регулируемую величину всех действующих на систему возмущений — важнейшее достоинство принципа регулирования по отклонению.

Рассмотренный принцип регулирования по отклонению не является единственным принципом автоматического регулирования. Имеется большое количество систем, у которых автоматическое регулирование осуществляется по величине изменения одного или нескольких возмущений, действующих на систему.

В системах с регулированием по возмущению также имеется измерительный элемент, определяющий изменения одного из возмущений, влияющих на режим работы регулируемого объекта (или одного из элементов системы). Результаты измерения преобразуются в соответствующие сигналы управления и подаются на вход регулятора, который автоматически восстанавливает заданный режим работы объекта, компенсируя влияние данного возмущения.

Регулирование по возмущению обычно применяется как дополнительное, улучшающее работу замкнутой системы с регулированием по отклонению. Применение комбинированного регулирования (по отклонению и по возмущению) позволяет расширить диапазон работы системы и значительно улучшить ее качественные показатели — точность и быстродействие. В нашем примере (рис. 0.2) для повышения точности регулирования напряжения можно осуществить регулирование по возмущению — изменению скорости вращения приводного двигателя. Для этой цели необходимо движок потенциометра также связать с центробежным регулятором, установленным на валу приводного двигателя генератора. При изменении скорости вращения движок потенциометра перемещается так, что напряжение генератора остается неизменным. Точность регулирования напряжения в данном случае выше, чем при наличии только одной обратной связи по отклонению.

Системы автоматического регулирования обеспечивают определенный характер изменения регулируемой величины.

В системе автоматической стабилизации регулируемая величина поддерживается неизменной с заданной степенью точности. В системе программного регулирования регулируемая величина изменяется по определенному, заранее заданному закону.

И наконец, если регулируемая величина изменяется соответственно произвольным изменениям какой-то другой величины, то такая система называется следящей.

Для получения необходимого значения регулируемой величины в измерительное устройство системы автоматической стабилизации вводится специальный элемент сравнения. Такими элементами могут быть постоянное значение э. д. с., пружина, создающая постоянное усилие, постоянный магнит, гироскопический задатчик, сохраняющий заданное направление своей оси в пространстве и т. д.

В системах программного регулирования закон изменения регулируемой величины устанавливается специальными задающими устройствами, в качестве которых могут быть использованы специальные реле, копиры, часовые механизмы и т. д.

В следящих системах необходимо, чтобы выходной сигнал воспроизводился исполнительными органами с достаточной степенью точности.

Рассмотренная в качестве примера система регулирования напряжения генератора относится к системам автоматической стабилизации; заданное значение регулируемой величины определяется натяжением пружины при первоначальной регулировке, так называемой настройкой системы.

Изучать системы автоматического регулирования необходимо путем детального ознакомления с элементами систем, затем на базе изучения схем и характеристик элементов приступать к изучению и анализу всей системы, т. е. к изучению процессов в системах автоматического регулирования.

2—571

§ 2. УСТАНОВИВШИЕСЯ РЕЖИМЫ И ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Процесс автоматического регулирования характеризуется изменением выходной (регулируемой) величины системы $Z_{вых}$ во времени. Зависимость $Z_{вых}=f(t)$ называется характеристикой процесса регулирования или переходной характеристикой.

Для системы автоматической стабилизации напряжения ($Z_{вых}=U_г$) характеристика процесса регулирования теоретически должна быть прямой ($Z_{вых}=\text{const}$); в системах программного регулирования и следящих системах выходная величина $Z_{вых}$ должна изменяться в точном соответствии с заданным законом изменения входной величины $Z_{вх}$. Однако в реальных условиях работы системы и на объект, и на регулятор воздействуют различные внешние возмущения — изменения окружающей температуры, колебания скорости приводных двигателей, напряжения и частоты источников, нагрузки и т. д. Вследствие воздействия на систему возмущений действительное значение регулируемой величины $Z_{вых}$ отличается от заданного настройкой значения или заданного закона ее изменения.

Кроме того, отклонения регулируемой величины от заданного значения всегда возникают при включении системы и при изменениях ее настройки.

Схема системы автоматического регулирования и параметры ее элементов должны быть выбраны так, чтобы отклонение регулируемой величины не превышало допустимого техническими условиями значения.

Системы, в которых происходит не уменьшение, а увеличение отклонений регулируемой величины, называются неустойчивыми и практически не применяются.

Таким образом, правильный выбор схемы регулирования и параметров (элементов) регулятора должен обеспечивать:

— оптимальный характер рабочих режимов системы;

— наименьшее отклонение регулируемой величины от заданного настройкой значения или заданного закона изменения.

Различают два режима работы систем автоматического регулирования: установившийся режим и неустановившийся (переходный).

При установившемся режиме система работает в течение длительного времени без изменения настройки при постоянном внешнем возмущающем воздействии.

Установившемуся режиму работы системы соответствует установившийся процесс регулирования. Регулятор системы непрерывно компенсирует воздействие на систему постоянных возмущений, поддерживая заданное значение регулируемой величины. Примерами установившихся режимов являются работа генератора с регулятором напряжения при постоянной скорости и постоянной нагрузке, движение орудия с постоянной скоростью или с постоянным ускорением и т. д.

При установившемся процессе регулирования регулятор обычно обеспечивает наибольшую точность совпадения действительного и заданного значений регулируемой величины.

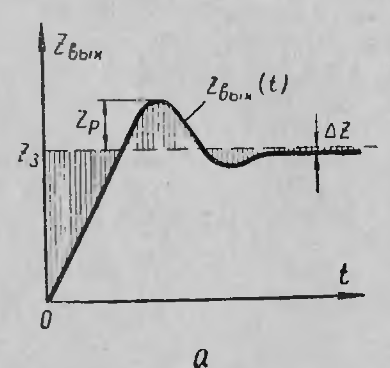
Отклонения (рассогласования) установившегося процесса регулирования называются статической ошибкой системы и обозначаются ΔZ (рис. 0.3).

Появление статических ошибок объясняется тем, что некоторые типы регуляторов, настроенные при определенном значении внешних возмущений, не обеспечивают идеальной точности регулирования при изменении возмущений, особенно если последние изменяются в широких пределах.

Системы, у которых при установившемся процессе регулирования имеют место статические ошибки, называются статическими системами. Системы, у которых статических ошибок регулирования нет, называются астатическими.

Большинство реальных систем автоматического регулирования являются статическими.

Величина статической ошибки является важнейшим показателем качества регулирования.



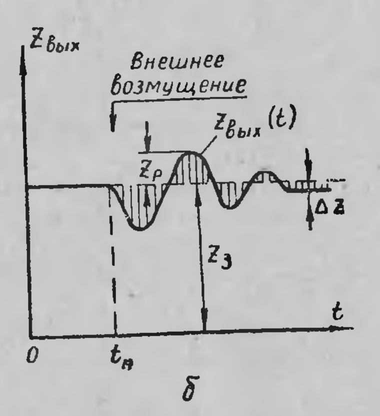


Рис. 0.3. Графики переходных процессов:

а — при изменении управляющего воздействия (настройки регулятора); *б* — при воздействии внешнего возмущения

Переходным процессом системы автоматического регулирования называется всякое изменение режима работы регулируемого объекта. Переходные процессы имеют место в следующих случаях:

— при включении системы автоматического регулирования;

— при изменении настройки регулятора;

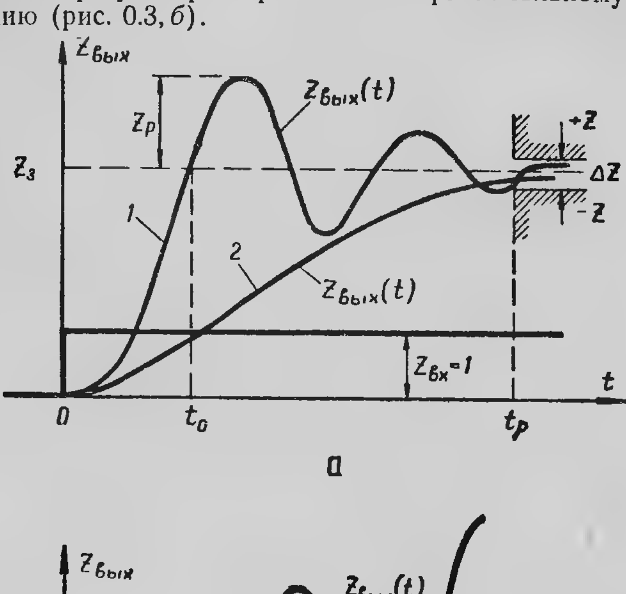
— при изменении возмущений, действующих на объект регулирования или какой-либо из элементов регулятора.

При включении системы автоматического регулирования обычно имеет место значительное начальное отклонение между заданным значением регулируемой величины и его действительным значением в момент включения и перерегулирования.

Перерегулирование на рис. 0.3, *а* обозначено Z_p. Значительное перерегулирование (перенапряжение, резкий бросок тока или скорости и т. д.) может быть опасно для системы. Поэтому для каждой системы задается определенное, максимально допустимое значение перерегулирования.

Аналогично переходному процессу при включении протекает переходный процесс при изменении настройки регулятора.

При воздействии на систему какого-либо внешнего возмущения в ней также имеют место переходные процессы, которые отличаются от рассмотренных выше тем, что регулируемая величина, изменившаяся под влиянием возмущения, в результате регулирующего действия регулятора стремится к первоначальному заданному значению (рис. 0.3, *б*).



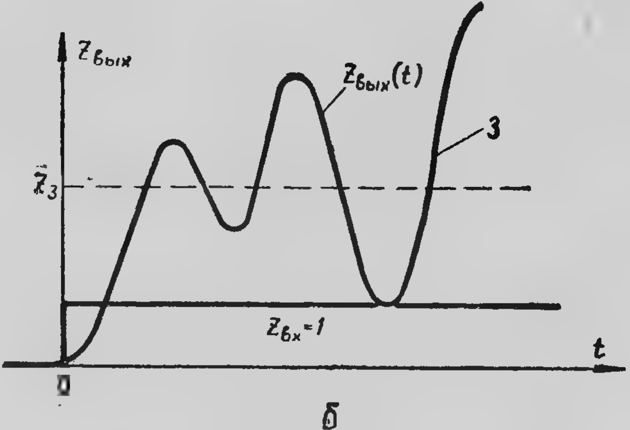


Рис. 0.4. Переходные процессы в системах регулирования:

а — в устойчивых системах; *б* — в неустойчивых системах; *1* — затухающий колебательный процесс; *2* — апериодический процесс; *3* — расходящийся переходный процесс

Таким образом, каждому из возможных изменений режима работы системы соответствует определенный переходный процесс регулирования.

В зависимости от параметров объекта регулирования и элементов регулятора переходный процесс в устойчивой системе может быть либо з а т у х а ю щ и м к о л е б а т е л ь н ы м (периодическим, кривая *1* на рис. 0.4, *а*), либо а п е р и о д и ч е с к и м (кривая *2*).

Если переходный процесс в системе расходящийся, то система является н е у с т о й ч и в о й (рис. 0.4, *б*).

Ввиду того что установившийся и переходный процессы являются частью единого процесса регулирования, то их во всех случаях следует рассматривать совместно Только при этом условии можно правильно оценить качество системы.

§ 3. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Для оценки качества данной системы автоматического регулирования и сравнения различных систем между собой недостаточно знать только величину статической ошибки системы. Необходимо оценивать и сравнивать переходные процесcы в различных системах.

Выше было показано, что причиной возникновения переходных процессов могут быть самые различные изменения входных (управляющих) сигналов и возмущений. Для оценки качества систем и проверки их динамических свойств введены стандартные входные сигналы:

— скачкообразное изменение управляющего сигнала настройки или возмущения на единицу — так называемый единичный скачок $Z_{вх}=1$ (рис. 0.4);

— периодическое изменение управляющего сигнала настройки или возмущения по синусоидальному закону.

Эти сигналы практически встречаются наиболее часто. Скачок соответствует включению регулятора и мгновенному изменению нагрузки. Синусоидальные колебания корпуса являются основным видом возмущений для систем стабилизации вооружения подвижных объектов.

Е д и н и ч н ы й с к а ч о к позволяет оценить качество переходных процессов в различных системах.

Каждая система в зависимости от своих свойств по-разному реагирует на одно и то же единичное скачкообразное изменение входного сигнала. Поэтому по характеру переходного процесса, вызванного единичным скачком, можно судить о качестве системы.

Показателями качества системы автоматического регулирования принято считать (рис. 0.4, *а*):

— статическую ошибку схемы ΔZ;

— время регулирования t_p, при котором отклонение регулируе-

мой величины $Z_р$ от ее заданного значения $Z_з$ становится меньше максимально допустимого отклонения $\pm Z$;

— величину перерегулирования $Z_р$, которая обычно выражается в процентах от $Z_з$:

$$Z_р\,\% = \frac{Z_р}{Z_з} \cdot 100;$$

— время отработки рассогласования t_0, при котором регулируемая величина в первый раз достигает значения $Z_з$;

— скорость затухания переходного процесса, которая может оцениваться отношением двух соседних амплитуд колебательного процесса.

Система обладает более высокими качествами, если статическая ошибка ΔZ, время регулирования $t_р$ и перерегулирование $Z_р$ малы, а скорость затухания колебаний велика.

Для определения качества системы автоматического регулирования необходимо найти закон изменения выходной величины во времени, т. е. получить кривую переходного процесса.

Кривая переходного процесса может быть получена экспериментальным путем при исследовании реальной системы, после чего по указанным выше показателям качества можно определить ее соответствие поставленным тактико-техническим требованиям.

Единичный синусоидальный входной сигнал характеризует способность системы воспроизводить меняющиеся по величине и знаку управляющие сигналы и возмущения. Чем точнее воспроизводит система все изменения входного сигнала, тем выше качество системы.

Рассмотрим принцип действия типовых элементов танковых систем автоматического регулирования.

Глава 1

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Измерительные и преобразовательные элементы в автоматических устройствах предназначены для выполнения следующих функций:

— воспринимать задающие воздействия или внешние возмущения и преобразовывать их в сигналы управления автоматическим устройством;

— измерять действительные значения или отклонения регулируемой величины;

— сравнивать заданное значение регулируемой величины с действительным значением и при наличии отклонения создавать сигнал, пропорциональный их разности;

— преобразовывать изменения одной физической величины в пропорциональные изменения другой физической величины.

Известно большое число измерительных и преобразовательных элементов, различных по принципу действия и своему конструктивному выполнению.

Измерительный элемент, который преобразует какую-либо физическую величину в электрический сигнал, называется электрическим датчиком. Кроме того, применяются измерительные элементы электрических величин, которые чувствительны к изменениям величины напряжения, тока, частоты, фазы и т. д.

§ 1.1. ОМИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ

Омические датчики в танковых автоматических устройствах предназначены для преобразования угловых или линейных перемещений в изменение сопротивления и соответствующие пропорциональные электрические сигналы (изменение тока или напряжения), которые снимаются на его выходе.

В зависимости от конструкции омические датчики подразделяются на проволочные, угольные и тензометрические, а в зависимости от схемы включения — на реостатные, потенциометрические и мостовые.

Общий вид наиболее распространенного проволочного реостата показан на рис. 1.1. Реостат выполняется из тонкой проволоки *1* (манганин, константан, нихром и другие материалы), которая наматывается в один ряд на каркас *3*. Каркас изготовляется из изоляционного материала (пластмассы, текстолита, керамики и т. п.). Намотка производится плотно виток к витку. По виткам проволочного сопротивления скользит щеточный движок (контакт) *2*, выполненный из латуни или серебра.



Рис. 1.1. Проволочный реостат:
1 — проволока; *2* — движок реостата; *3* — каркас реостата

Потенциометрические схемы включения омических датчиков. Простейшая схема включения омического датчика показана на рис. 1.2. Питание датчика осуществляется от внешнего источника электрической энергии напряжением U_0. Входной величиной является линейное (или угловое) перемещение движка *Д*, а выходной — напряжение $U_{вых}$ на нагрузке $R_н$.

Полагая $R_н=\infty$ и обозначив длину потенциометра через $l_п$, сопротивление через $R_п$, а расстояние между движком и точкой *а* через X и соответственно сопротивление через R_X, можем записать:

$$\frac{R_п}{R_X}=\frac{l_п}{X}=\frac{U_0}{U_{вых}}.$$

Из этого равенства получим

$$U_{вых}=\frac{U_0}{l_п}X,$$

т. е. зависимость выходного напряжения от перемещения движка — линейная (рис. 1.2, *б*).

Если $R_н\neq\infty$, то зависимость выходного напряжения от перемещения движка несколько усложняется и характеристика искажается; причем чем меньше $R_н$, тем больше нелинейность характеристики.

Как видно из схемы включения датчика, максимальное значение выходного напряжения равно напряжению источника питания U_0; при перемещении движка изменяется только величина выходного напряжения без изменения полярности.

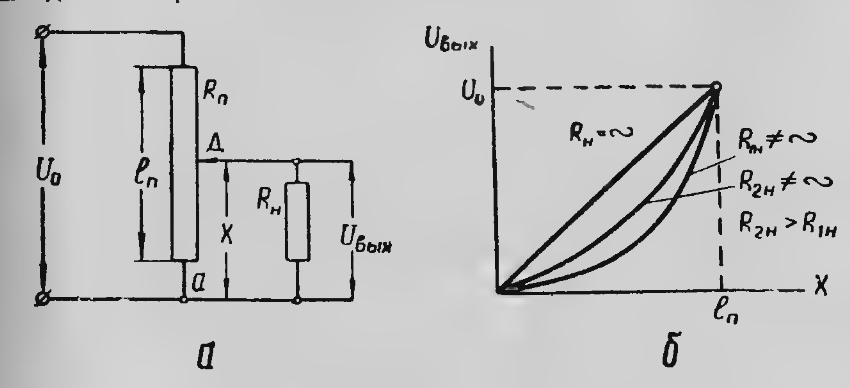


Рис. 1.2. Потенциометрический датчик:
а — схема; *б* — характеристики датчика

В том случае, если необходимо в зависимости от направления перемещения движка изменять не только величину выходного напряжения, но и полярность, применяется схема включения потенциометрического датчика с делителем напряжения (рис. 1.3, *а*).

Делитель напряжения состоит из двух одинаковых сопротивлений $R_д$ и подключается к внешнему источнику параллельно с потенциометром. Оба плеча потенциометра имеют одинаковые сопротивления $R_п$. Нагрузка $R_н$ включается в цепь между движком *Д* потенциометра и средней точкой делителя. В исходном положении движка потенциалы средней точки делителя и движка равны и, следовательно, напряжение на нагрузке равно нулю. При смещении (повороте) движка потенциометра вверх (положение 1) потенциал движка будет выше потенциала средней точки делителя и на нагрузке появляется напряжение определенной полярности. Максимальное значение выходного напряжения в данной схеме равно $\frac{U_0}{2}$. При смещении движка вниз (положение 2) потенциал средней точки делителя становится выше потенциала движка и полярность напряжения на нагрузке изменяется.

Характеристики датчика, включенного по схеме с делителем напряжения, показаны на рис. 1.3, *б*.

В данной схеме, как и в предыдущей, характеристика выходного напряжения получается нелинейной. Получить нужный харак-

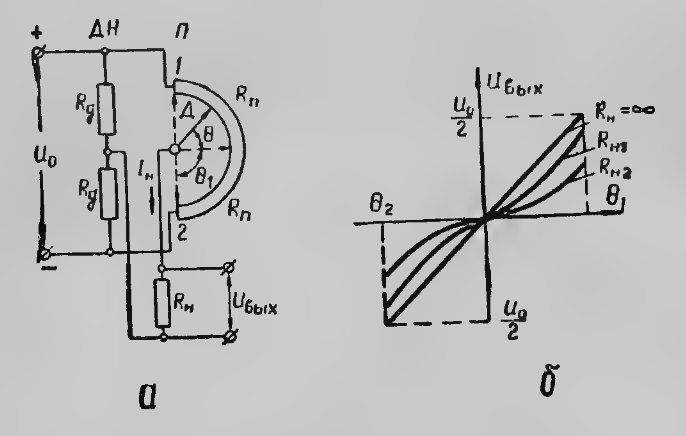


Рис. 1.3. Потенциометрический датчик с делителем напряжения:
а — схема; *б* — характеристики датчика

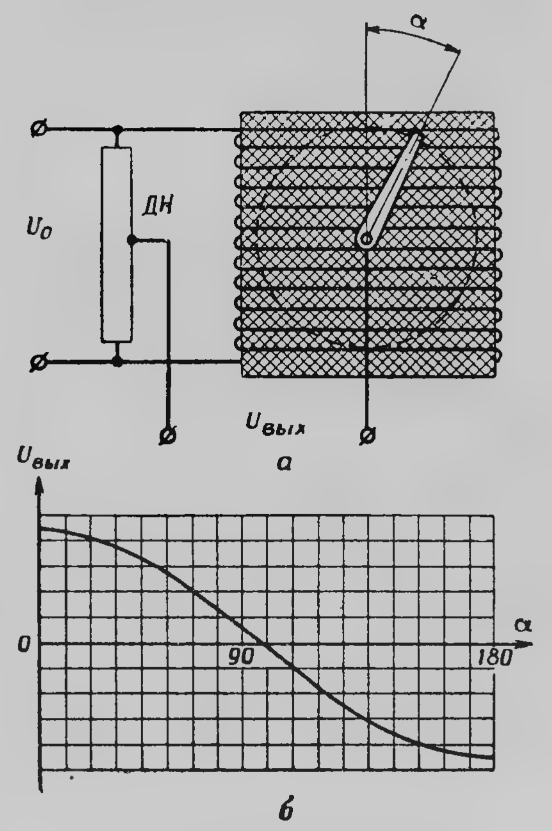


Рис. 1.4. Косинусный потенциометр:
а — схема; *б* — характеристика

тер зависимости выходного напряжения от перемещения движка можно путем подбора величин сопротивлений $R_п$ плеч потенциометра и сопротивлений $R_д$ плеч делителя напряжения при заданной величине сопротивления $R_н$ нагрузки.

В тех случаях, когда необходимо получить изменение выходной величины по закону тригонометрической функции, применяются синусно-косинусные потенциометры.

На рис. 1.4 показана наиболее простая схема косинусного потенциометра, представляющего собой плоскую изоляционную пластину с равномерно намотанной на нее обмоткой.

Движок, ось которого закреплена в центре пластины, перемещается по окружности. Выходное напряжение снимается с движка и средней точки делителя напряжения *ДН*.

Принимая за входную величину угол поворота движка α, а за выходную напряжение $U_{вых}$, получим

$$U_{вых} = \frac{U_0}{2} \cos \alpha.$$

Преимуществами потенциометрических датчиков являются: простота конструкции; возможность питания как постоянным, так и переменным током; возможность получения зависимости выходного напряжения необходимого вида. Наряду с этим потенциометрические датчики обладают и существенными недостатками: наличие скользящего контакта и вызванная этим необходимость сравнительно больших усилий для перемещения движка потенциометра; относительно большая потребляемая мощность.

Потенциометрические датчики широко применяются в танковых автоматических системах.

§ 1.2. ВРАЩАЮЩИЕСЯ ТРАНСФОРМАТОРЫ И ИНДУКЦИОННЫЕ ДАТЧИКИ

Вращающиеся трансформаторы (ВТ) и индукционные датчики (ИД) предназначены для измерения угловых или линейных перемещений, которые преобразуются в электрические сигналы (напряжение переменного тока).

Конструктивно датчики этого типа представляют собой малогабаритные трансформаторы, имеющие переменный коэффициент трансформации.

Вращающийся трансформатор. В танковых автоматических устройствах наибольшее распространение получили бесконтактные вращающиеся трансформаторы. Общий вид и принципиальная схема бесконтактного вращающегося трансформатора показаны на рис. 1.5.

Ротор *1* вращающегося трансформатора выполняется из электротехнической стали, имеет специальный профиль. На роторе нет никаких обмоток.

Статор *2* выполнен аналогично статору электрической машины и имеет четыре явно выраженных полюса. На двух соседних полюсах расположена одна катушка первичной обмотки w_0, а на двух

других — катушки вторичной обмотки $w_а$ и $w_б$, имеющих одинаковое количество витков $w_а=w_б$. Эти катушки включены встречно.

К первичной обмотке подводится напряжение U_0 переменного тока, который, проходя по первичной обмотке w_0, создает переменный магнитный поток Φ_0. Магнитный поток индуктирует в каждой катушке вторичной обмотки переменную э. д. с., величина которой зависит от положения ротора.

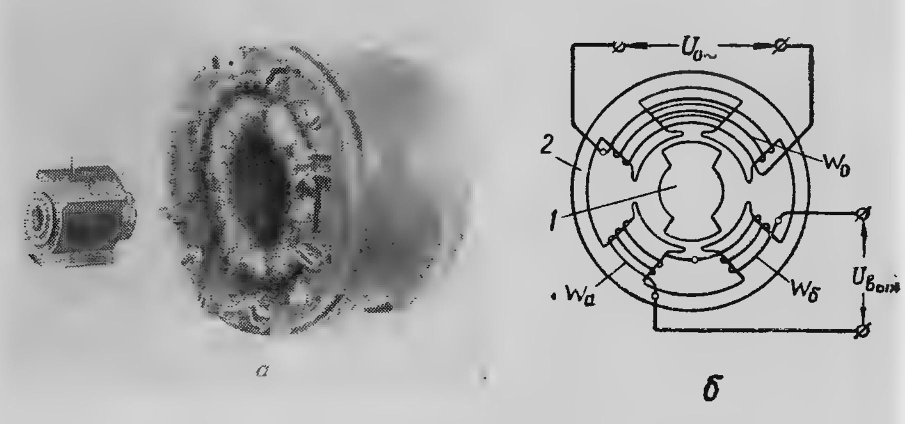


Рис. 1.5. Бесконтактный вращающийся трансформатор:

а — общий вид; *б* — принципиальная схема; *1* — ротор; *2* — статор с первичной w_0 и вторичной обмотками $w_а$ и $w_б$

Если ротор *1* расположен симметрично относительно полюсов статора с обмотками $w_а$ и $w_б$, то магнитный поток Φ_0 распределяется (ротором) равномерно между полюсами и в катушках $w_а$ и $w_б$ индуктируются равные по амплитуде, но противоположные по фазе э. д. с. $e_а$ и $e_б$ (рис. 1.6, *б*). При этом суммарная э. д. с., снимаемая с выводных зажимов вращающегося трансформатора, будет равна нулю ($e=0$).

При повороте ротора из среднего положения равномерность распределения магнитного потока Φ_0 между полюсами статора будет нарушаться, так как магнитная проводимость одной пары полюсов будет увеличиваться, а другой — уменьшаться (рис. 1.6, *в*). Увеличение магнитного потока, пронизывающего витки одной из катушек вторичной обмотки (например, $w_а$) вызовет увеличение э. д. с. $e_а$, индуктированной в данной катушке. В это время уменьшение магнитного потока в другой катушке ($w_б$) приведет к снижению э. д. с. $e_б$, которая индуктируется в ней. Благодаря этому на выводных зажимах трансформатора появляется суммарная э. д. с. e, равная разности э. д. с., индуктируемых в обеих катушках.

Эта суммарная э. д. с. тем больше, чем больше угол поворота ротора. При углах поворота ротора до 30° амплитуда суммарной э. д. с. изменяется прямо пропорционально углу поворота ротора, а фаза будет соответствовать фазе большей из э. д. с., индуктированной в катушках вторичной обмотки. Поэтому если повернуть ротор от среднего положения в противоположную сторону (рис. 1.6, *а*), то большая часть магнитного потока будет пронизывать витки катушки $w_б$, а меньшая — витки катушки $w_а$, вследствие чего фаза суммарной э. д. с. e изменится на 180°.

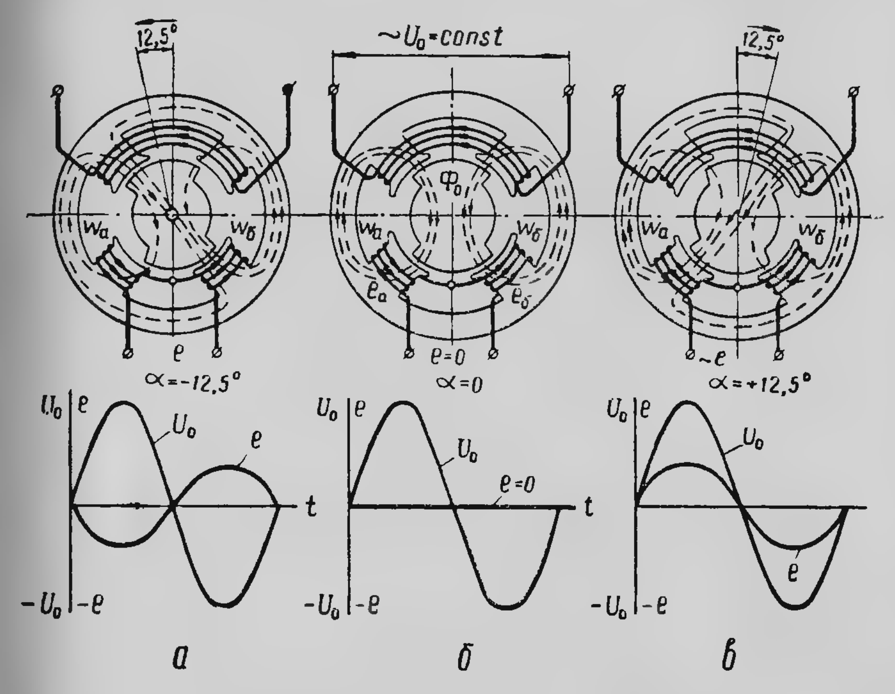


Рис. 1.6. Схема распределения магнитных потоков и индуктированных э. д. с. в бесконтактном вращающемся трансформаторе

Итак, величина вторичного напряжения ВТ (выходной сигнал), получаемого на его выводных зажимах, зависит от угла поворота ротора (входной сигнал), а фаза — от направления поворота его.

Примерный график зависимости напряжения и фазы выходного сигнала вращающегося трансформатора от угла и направления поворота его ротора показан на рис. 1.7. Изменение напряжения имеет линейный характер как при холостом ходе (кривая *1*), так и при работе ВТ под нагрузкой (кривая *2*) в пределах ±25° угла поворота ротора.

Преимуществами бесконтактных вращающихся трансформаторов являются: высокая точность (линейность характеристик при углах поворота ротора $\alpha<10°$ обеспечивается с точностью до 0,01—

0,02%); простота конструкции; надежность работы (отсутствуют детали, которые подвержены износу); незначительные усилия, необходимые для поворота ротора; малые габариты и вес.

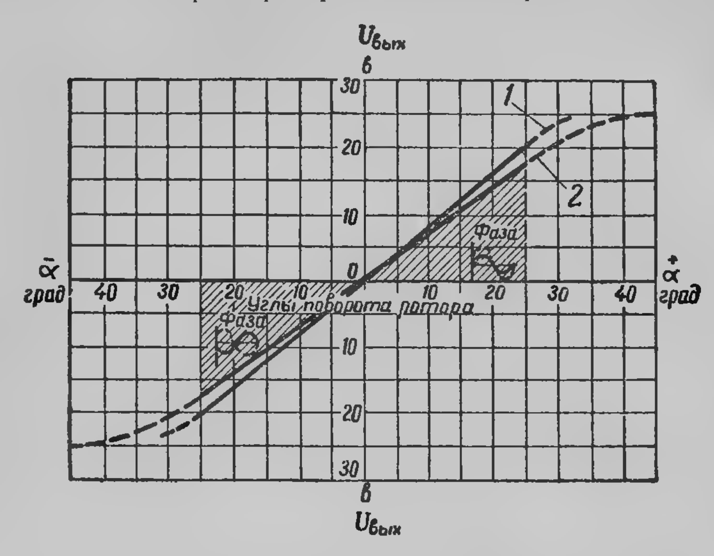


Рис. 1.7. Зависимость величины и фазы выходного напряжения ВТ от угла и направления поворота ротора:
1 — холостой ход; *2* — нагрузка

Синусно-косинусный вращающийся трансформатор (СКВТ) применяется для преобразования угловых перемещений в напряжение переменного тока, величина которого изменяется по закону тригонометрической функции $\sin\alpha$ или $\cos\alpha$.

Синусно-косинусный вращающийся трансформатор представляет собой малогабаритную электрическую машину с неявно выраженными полюсами на роторе и статоре. На роторе расположены две обмотки w_{p1} и w_{p2} (рис. 1.8, *а*), оси которых сдвинуты одна относительно другой на 90°.

На обмотку w_c статора (обмотку возбуждения) подается напряжение переменного тока U_0. Переменный ток, проходя по обмотке статора, создает переменный магнитный поток Φ_0, который пересекает витки обмоток ротора. В них индуктируются э. д. с.: в обмотке w_{p1} индуктируется э. д. с. $E_1=k_1U_0\sin\alpha$, а в обмотке w_{p2} — э. д. с. $E_2=k_2U_0\cos\alpha$, где k_1, k_2 — коэффициенты трансформации; α — угол поворота ротора, отсчитываемый от поперечной оси q—q.

Обмотка w_{p1} называется синусной, обмотка w_{p2} — косинусной, а весь трансформатор — синусно-косинусным ВТ. При подключении к обмотке w_{p1} нагрузки $Z_{н1}$, а к обмотке w_{p2} нагрузки $Z_{н2}$ в цепях обмоток ротора будут проходить токи, которые создадут соответственные магнитные потоки. Эти магнитные потоки, взаимодействуя с магнитным потоком Φ_0 статора, могут искажать синусоидальную или косинусоидальную зависимость вторичных напряжений от угла поворота ротора.

Для компенсации влияния магнитных потоков, создаваемых синусной и косинусной обмотками, на статоре размещается дополнительная (квадратурная)[1] обмотка w_k (рис. 1.8, *б*), которая включается на сопротивление $Z_к$ или закорачивается. Этим достигается высокая степень точности выполнения синусоидальной и косинусоидальной зависимости выходных напряжений от угла поворота ротора СКВТ.

Синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы применяются в танковой навигационной аппаратуре для дистанционного измерения углов между валами, не имеющими механической связи друг с другом.

Рис. 1.8. Синусно-косинусный вращающийся трансформатор (СКВТ):
а — простейший СКВТ; *б* — СКВТ с квадратурной обмоткой

Индукционный датчик (ИД) предназначен для измерения небольших линейных или угловых перемещений и преобразования их в напряжение переменного тока.

В качестве примера рассмотрим индукционный датчик, реагирующий на величину и знак давления. Схема датчика показана на рис. 1.9.

На упругую мембрану, механически соединенную через шток с подвижным якорем датчика, воздействует давление жидкости, уравновешиваемое возвратной пружиной.

На неподвижных сердечниках размещены обмотки возбуждения и сигнальные обмотки. Обмотки возбуждения включены **согласно**

---

[1] Квадратурная обмотка статора $w_к$ сдвинута относительно основной обмотки статора на 90°. При наличии поперечного магнитного потока, который создается обмотками ротора, в квадратурной обмотке индуктируется э. д. с. и возникает ток. Этот ток создает магнитный поток, который направлен вдоль поперечной оси q—q против поперечного магнитного потока обмоток ротора, чем достигается полная компенсация влияния последнего.

и питаются переменным током напряжением U_0. Сигнальные обмотки включены встречно.

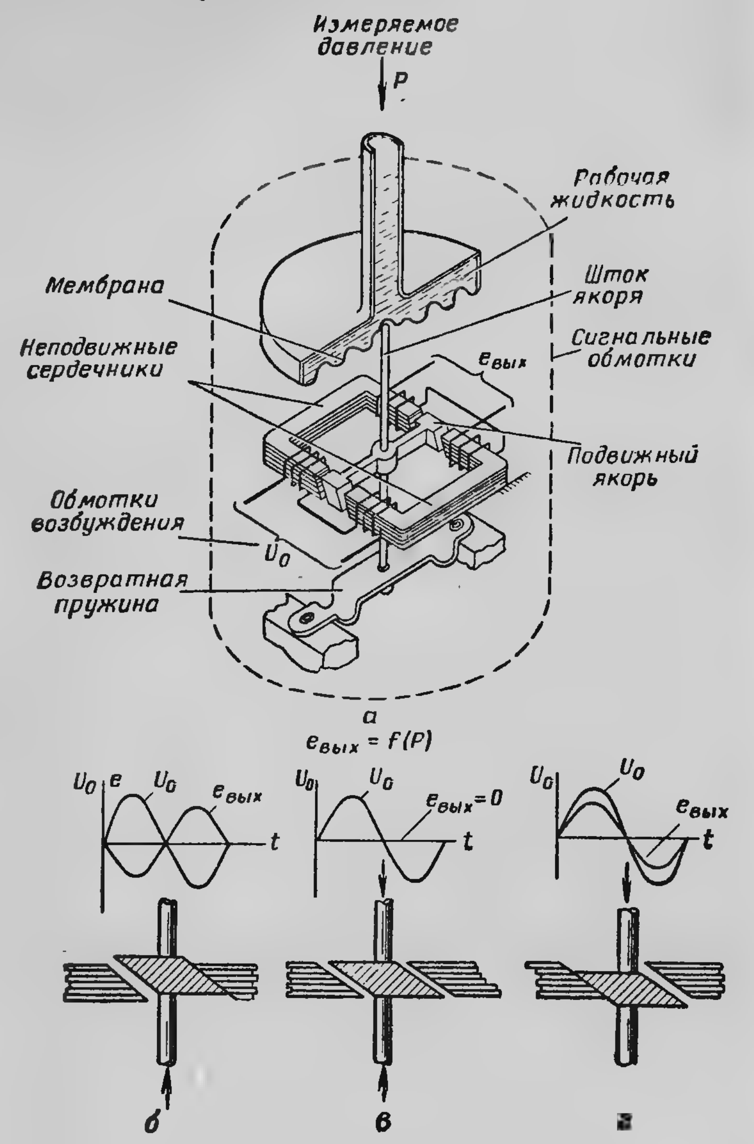


Рис. 1.9. Индукционный датчик давления:
а — принципиальная схема; *б, в, г* — диаграммы э. д. с. сигнальной обмотки

Перемещение подвижного сердечника изменяет воздушный зазор, а следовательно, и магнитную связь между сигнальной обмоткой и обмоткой возбуждения.

Если якорь датчика, отрегулированного на определенную величину начального давления, занимает среднее положение (рис. 1.9, *в*) и зазоры между ним и обоими сердечниками равны, то в обеих частях сигнальной обмотки индуктируются одинаковые, но противоположные по фазе э. д. с. В этом случае результирующая э. д. с. равна нулю ($e_{вых}=0$).

Если же подвижный якорь в результате изменения давления перемещается из среднего положения и зазоры между ним и обоими сердечниками изменяются (рис. 1.9, *б* и *г*), то в обеих частях сигнальной обмотки индуктируются разные по величине э. д. с., т. е. появляется результирующая э. д. с., амплитуда которой пропорциональна изменению давления, а фаза соответствует направлению перемещения.

§ 1.3. СЕЛЬСИНЫ

Сельсин[1] представляет собой малогабаритную индукционную электрическую машину переменного тока. Сельсины применяются для синхронной передачи угла (вращения) — индикаторный режим — и для измерения угла рассогласования между валами, которые не имеют механической связи между собой, и преобразования его в напряжение — трансформаторный режим.

Наибольшее распространение в танковых автоматических системах получили сельсины, работающие на однофазном переменном токе. Сельсины, которые применяются в этих системах в качестве датчиков и приемников, могут выполняться контактными и бесконтактными.

Общий вид и магнитная система контактного сельсина показана на рис. 1.10. На двух явно выраженных полюсах статора размещается обмотка возбуждения *1*, на роторе с неявно выраженными полюсами размещены три одинаковые фазовые обмотки *2*, сдвинутые одна относительно другой на 120°. Фазовые обмотки соединены звездой. Концы фазовых обмоток выведены на контактные кольца *3*, закрепленные на валу ротора. Наличие щеточного контакта является основным недостатком контактного сельсина.

Бесконтактный сельсин типа БС-155 показан на рис. 1.11. В корпусе *10* закреплены статор *8* с фазовыми обмотками и цилиндрические катушки обмоток *6* и *9* возбуждения. Ротор состоит из двух стальных профилированных сердечников *2* и *4* с высокой магнитной проницаемостью, разделенных прокладкой *3* из немагнитного материала. Сердечники *2* и *4* выполнены в виде пакетов из листов электротехнической стали. (На рис. 1.11, *а* показаны сердечники, частично освобожденные от покрывающей их пластмассы.)

Катушки обмоток *6* и *9* закреплены в корпусе *10* так, что их ось совпадает с осью ротора и перпендикулярна к осям фазовых

[1] Наименование «сельсин» образовано из английских слов self — сам и sync — синхронизатор.

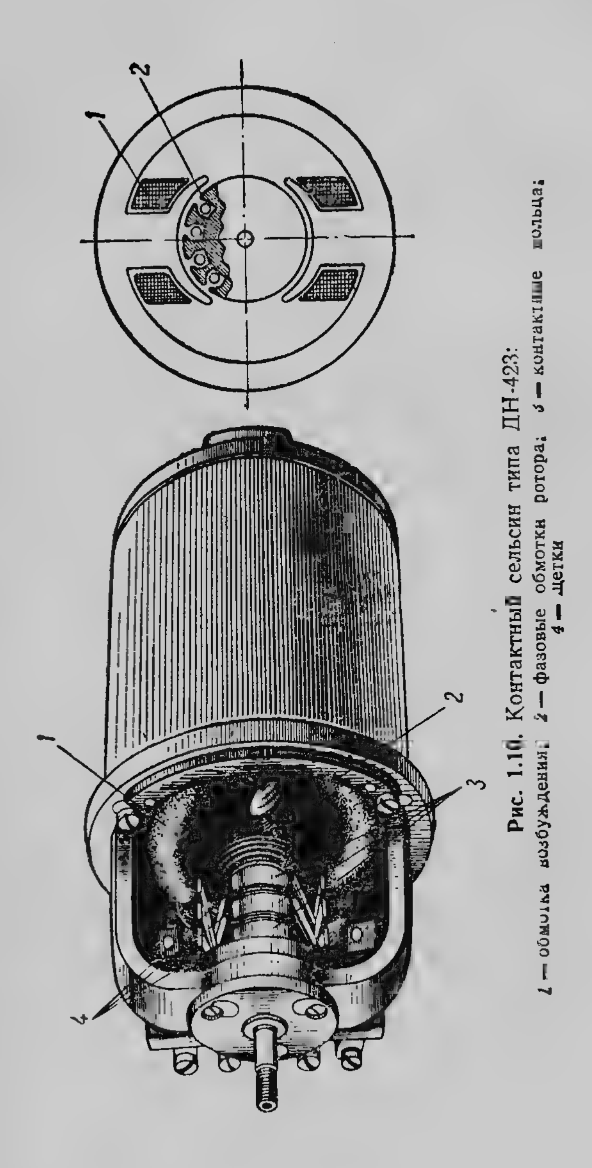
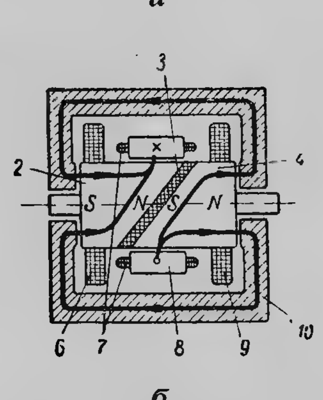


Рис. 1.10. Контактный сельсин типа ДН-423:
1 — обмотка возбуждения; 2 — фазовые обмотки ротора; 3 — контактные кольца; 4 — щетки

обмоток 7. Поэтому магнитный поток, создаваемый обмоткой 9 возбуждения, непосредственно не воздействует на фазовые обмотки (не пересекает витков фазовых обмоток). Для того чтобы



а



б

Рис. 1.11. Бесконтактный сельсин типа БС-155:

а — конструкция; *б* — схема магнитной цепи; *1* — крышка; *2* и *4* — сердечники ротора; *3* — намагниченная прокладка; *5* — магнитопровод; *6* и *9* — обмотки возбуждения; *7* — фазовые обмотки; *8* — статор; *10* — корпус

направить магнитный поток возбуждения через фазовые обмотки статора нужным образом, используются сердечники *2* и *4* ротора.

Магнитная цепь бесконтактного сельсина и путь магнитного потока показаны на рис. 1.11, *б*.

Допустим, что в данный момент левая и правая катушки обмоток *6* и *9* возбуждения намагничивают сердечники *2* и *4* ротора

так, как это показано на рис. 1.11, *б*. При этом магнитный поток проходит по левому сердечнику *2*, затем изменяет свое направление на 90° и через воздушный зазор проходит в статор *8* (перпендикулярно к плоскости чертежа, направление показано крестом). Из статора магнитный поток через воздушный зазор проходит в правый сердечник *4* и замыкается через корпус *10*.

Проходя через статор, магнитный поток пересекает витки фазовых обмоток и индуктирует в них э. д. с.

Распределение магнитного потока ротора относительно фазовых обмоток изменяется при повороте ротора, благодаря чему изменяются действующие значения э. д. с., которые в них индуктируются.

Таким образом, ротор бесконтактного сельсина является магнитным коммутатором и выполняет те же функции, что и ротор с обмоткой возбуждения в контактных сельсинах.

В танковых автоматических системах сельсины могут применяться в двух режимах: индикаторном и трансформаторном.

Индикаторный режим применяется для дистанционной передачи угла (вращения). Схема (рис. 1.12) состоит из сельсина-датчика СД, сельсина-приемника СП и линии связи.

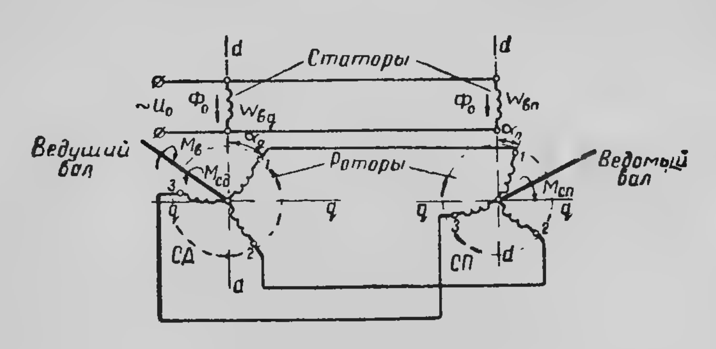


Рис. 1.12. Схема дистанционной передачи угла

Обмотки возбуждения $w_{в.д}$ и $w_{в.п}$ сельсина-датчика и сельсина-приемника питаются переменным током.

Фазовые обмотки роторов сельсина-датчика и сельсина-приемника соединены звездой. Одноименные зажимы сельсина-датчика СД и сельсина-приемника СП соединены друг с другом так, что одноименные фазовые обмотки сельсина-датчика и сельсина-приемника включены встречно.

Вал ротора сельсина-датчика соединен с ведущим валом, а вал ротора сельсина-приемника — с ведомым валом (со стрелкой индикатора).

При включении переменного тока в обмотки возбуждения $w_{в.д}$ и $w_{в.п}$ в каждом сельсине будет создан пульсирующий магнитный поток возбуждения Φ_0, который индуктирует в фазовых обмотках ротора переменные э. д. с. E_1, E_2 и E_3. Величины этих э. д. с. зависят от взаимного расположения фазовых обмоток ротора и обмотки возбуждения, т. е. от угла поворота ротора:

$$E_1 = nU_0 \cos \alpha.$$
$$E_2 = nU_0 \cos (\alpha + 120^\circ);$$
$$E_3 = nU_0 \cos (\alpha - 120^\circ),$$

где $n = \frac{w_в k_в}{w_ф k_ф}$ — коэффициент трансформации для одной фазовой обмотки;

U_0 — напряжение источника переменного тока;

α — угол поворота ротора.

Когда положение роторов сельсина-датчика СД и сельсина-приемника СП согласовано ($\alpha_д = \alpha_п$), то э. д. с., индуктированные в их фазных обмотках, будут соответственно равны и тока в них не будет.

Если приложить к ведущему валу вращающий момент $M_в$ и повернуть вал вместе с ротором сельсина-датчика на некоторый угол $\alpha_д > \alpha_п$, то согласованное положение роторов СД и СП будет нарушено. При этом э. д. с., индуктируемые в одноименных фазовых обмотках роторов сельсина-датчика и сельсина-приемника, станут различными. Поэтому в фазовых обмотках роторов СД и СП появятся токи, которые, взаимодействуя с магнитными потоками возбуждения Φ_0, создадут вращающие моменты на роторах сельсина-датчика и сельсина-приемника.

Вращающий момент $M_{СД}$ на роторе сельсина-датчика будет уравновешиваться внешним вращающим моментом $M_в$, поэтому ротор сельсина-датчика сохранит свое положение неизменным.

Вращающий момент $M_{СП}$ (синхронизирующий момент) на роторе сельсина-приемника вызовет поворот ротора (на угол $\alpha_п = \alpha_д$) в положение, согласованное с положением ротора сельсина-датчика. Ведомый вал в это время будет поворачивать стрелку индикатора или может воздействовать на элементы исполнительной системы. При непрерывном вращении ведущего вала системы ведомый вал будет вращаться с такой же скоростью.

Дистанционная система индикаторной передачи угла применяется в танковой навигационной аппаратуре.

Трансформаторный режим применяется для дистанционного измерения угла. Схема (рис. 1.13) состоит из сельсина-датчика (СД), сельсина-трансформатора (СТ) и линии связи.

Обмотка возбуждения $w_{в.д}$ сельсина-датчика питается переменным током, напряжение которого равно U_0. Фазовые обмотки роторов соединены звездой. Одноименные зажимы фазовых обмоток сельсинов соединены. Однофазная обмотка статора сельсина-трансформатора является выходной, с ее зажимов снимается выходное напряжение $U_{вых}$. Ведущий вал жестко соединен с ротором сельсина-датчика. Ротор сельсина-трансформатора заторможен и вращаться не может.

При включении переменного тока в обмотку $w_{в.д}$ возбуждения сельсина-датчика в его фазовых обмотках будут индуктироваться э. д. с., равные:

$$E_{д_1} = nU_0 \cos \alpha_д;$$
$$E_{д_2} = nU_0 \cos (\alpha_д + 120°);$$
$$E_{д_3} = nU_0 \cos (\alpha_д - 120°).$$

При положении ротора сельсина-датчика, показанном на рис. 1.13, э. д. с. $E_{д_1}$ будет больше э. д. с. $E_{д_2}$, которая равна $E_{д_3}$: $E_{д_1} > E_{д_2} = E_{д_3}$. Эти э. д. с. создают токи I_1, I_2 и I_3 в цепях фазовых обмоток роторов сельсинов и линии связи, причем величина тока I_1 больше величин токов I_2 и I_3.

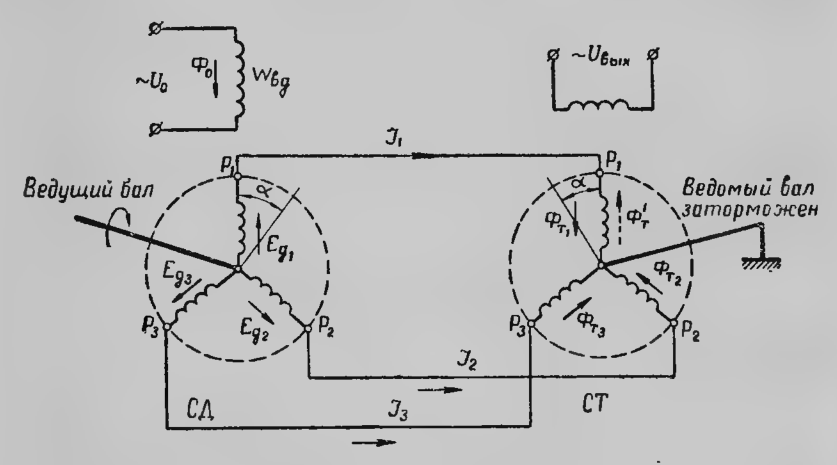


Рис. 1.13. Схема дистанционного измерения угла на сельсинах в трансформаторном режиме

Э. д. с. и токи, индуктированные в фазовых обмотках ротора сельсина-датчика, не составляют трехфазной системы. Они индуктированы пульсирующим однофазным магнитным потоком обмотки возбуждения, а поэтому э. д. с. $E_{д_1}$, $E_{д_2}$ и $E_{д_3}$ совпадают по фазе и могут складываться алгебраически; то же самое относится и к токам I_1, I_2 и I_3.

Проходя по фазовым обмоткам ротора сельсина-трансформатора (СТ), токи I_1, I_2 и I_3 создают магнитодвижущие силы, которые вызывают появление магнитных потоков $\Phi_{т_1}$, $\Phi_{т_2}$ и $\Phi_{т_3}$, направленных вдоль осей фазовых обмоток ротора.

Суммарный магнитный поток $\Phi'_т$ является геометрической суммой магнитных потоков $\Phi_{т_1}$, $\Phi_{т_2}$ и $\Phi_{т_3}$, его направление зависит от соотношения величин токов I_1, I_2 и I_3 в фазовых обмотках сельсина-трансформатора. Если направление оси одной из фазовых обмоток ротора сельсина-датчика (СД) совпадает с осью его

обмотки возбуждения (в нашем примере это обмотка P_1 на рис. 1.13), то индуктируемая в этой фазовой обмотке э. д. с. будет больше э. д. с., индуктируемых в остальных обмотках, следовательно, и ток в цепи этой обмотки будет больше токов в двух других обмотках: $I_1 > I_2 = I_3$. Поэтому суммарный магнитный поток $\Phi'_т$ будет направлен вдоль оси первой фазовой обмотки сельсина-трансформатора перпендикулярно к оси выходной обмотки. При этом магнитный поток не будет пересекать витков выходной обмотки и выходное напряжение будет равно нулю ($U_{вых} = 0$).

Если повернуть ротор сельсина-датчика СД, например, по часовой стрелке на некоторый угол α, то направление суммарного магнитного потока $\Phi'_т$ в сельсине-трансформаторе СТ изменится: он отклонится от продольной оси влево на угол $-\alpha$. При этом магнитный поток $\Phi'_т$ будет пересекать витки выходной обмотки справа налево (по схеме), благодаря чему на ее зажимах появится напряжение, равное

$$U_{вых} = k_1 U_0 \sin(-\alpha) = -k_1 U_0 \sin \alpha.$$

При повороте ротора сельсина-датчика СД против часовой стрелки на угол $(-\alpha_1)$ суммарный магнитный поток $\Phi'_т$ отклоняется от продольной оси вправо на угол α_1. При этом пересечение витков выходной обмотки суммарным магнитным потоком будет происходить в противоположном направлении (по схеме слева направо), вследствие чего на ее зажимах появится напряжение противоположной фазы ($U_{вых} = k_1 U_0 \sin \alpha_1$). Таким образом, фаза выходного напряжения будет изменяться на 180° при изменении направления поворота ротора сельсина-датчика от согласованного положения с ротором сельсина-трансформатора, а величина выходного напряжения будет изменяться пропорционально синусу угла рассогласования.

Сельсины, работающие в трансформаторном режиме, также применяются в навигационной аппаратуре.

§ 1.4. ГИРОСКОПИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ

Основной частью любого гироскопического датчика является гироскоп[1].

Гироскопом называют быстро вращающийся ротор (маховик), ось которого укреплена в одной или двух рамках.

В гироскопических датчиках используются свойство устойчивости и свойство прецессии. Свойство устойчивости проявляется в стремлении сохранения неизменным в пространстве оси гироскопа. При воздействии на ось гироскопа внешней силы ось отклоняется, т. е. прецессирует, но в сторону, перпендикулярную направлению действия внешней силы (рис. 1.14).

[1] Наименование «гироскоп» образовано из двух греческих слов: гирос — вращение и скопео — наблюдаю. Буквальный перевод слова гироскоп — прибор для наблюдения вращения.

Направление отклонения зависит от направления вращения ротора и направления внешней силы.

В танковых автоматических устройствах получили применение трехстепенные и двухстепенные гироскопы.

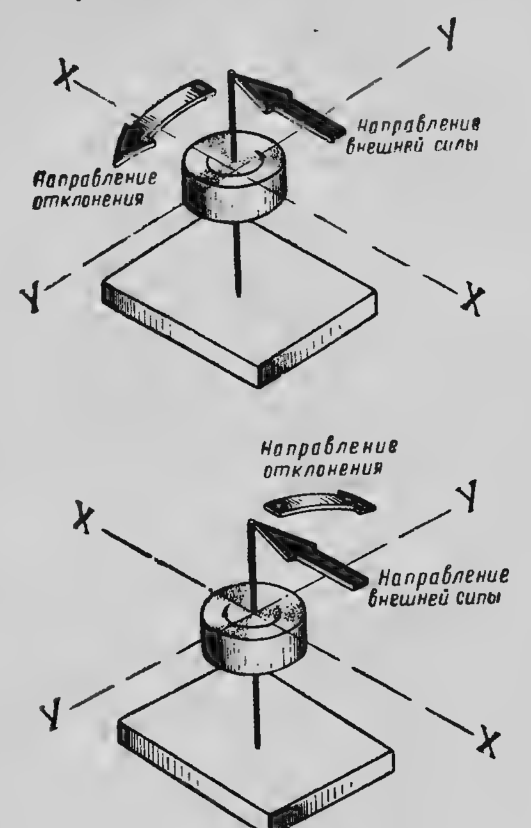


Рис. 1.14. Свойство быстровращающегося волчка отклоняться под действием внешней силы в сторону, перпендикулярную действию силы

Трехстепенный гироскоп

Трехстепенный гироскоп (рис. 1.15) состоит из быстро вращающегося ротора *3*, внутренней рамки *2* и наружной рамки *1*. Наружная рамка *1* устанавливается в подшипниках на основании *4*.

Первая степень свободы гироскопа — вращение ротора вокруг оси $Z — Z$; вторая — вращение ротора вместе с внутренней рамкой вокруг оси $Y — Y$; третья — вращение ротора вместе с внутренней и наружной рамками вокруг оси $X — X$. Ось вращения ротора $Z — Z$ называется главной осью гироскопа. Оси гироскопа $X — Y — Z$ пересекаются в общей точке под прямым углом.

Трехстепенный гироскоп обладает свойством устойчивости, т. е. способностью сохранять неизменным направление своей главной оси (оси ротора $Z — Z$) в пространстве при колебаниях основания, а также свойством прецессии, т. е. способностью отклонять главную ось под воздействием внешних сил или вращающих моментов.

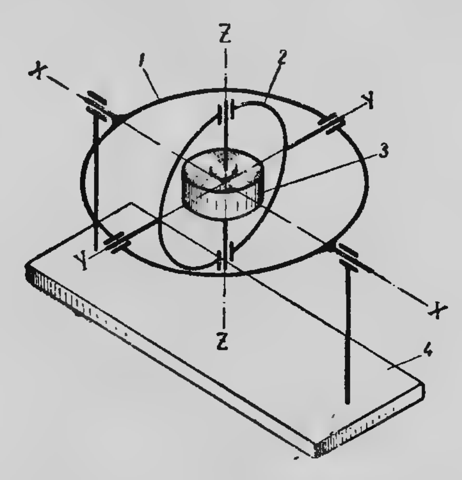


Рис. 1.15. Трехстепенный гироскоп:

1 — наружная рамка; *X—X* — ось вращения; *2* — внутренняя рамка; *У — У* — ось вращения; *3* — ротор; *Z — Z* — ось вращения; *4* — основание

Трехстепенный гироскоп сохраняет заданное направление своей главной оси в пространстве тем точнее, чем быстрее вращается его ротор и чем больше масса и диаметр ротора, т. е. чем больше его кинетический момент[1] и чем меньше действующие на его рамки внешние вращающие моменты и моменты трения.

Для того чтобы уяснить свойства трехстепенного гироскопа, рассмотрим его работу, воспользовавшись схемой, показанной на рис. 1.16.

Зададимся направлением вращения ротора гироскопа $\omega_р$ и приложим к оси наружной рамки вращающий момент M_X. Вектор скорости вращения ротора $\overline{\omega}_р$ направлен вдоль оси $Z — Z$, а вектор момента $\overline{M}_X$ — вдоль оси $X — X$.

В результате действия вращающего момента M_X на наружную рамку она начнет поворачиваться вокруг оси $X — X$ с очень незначительной скоростью ω_X. При этом ротор будет участвовать в двух движениях: относительном движении (вращение со скоро-

[1] Кинетическим моментом H гироскопа называется главный момент количества движения гироскопа, вращающегося вокруг одной оси $Z—Z$, равный произведению момента инерции ротора на его угловую скорость: $H = j_z\omega_р$.

стью $\omega_р$) и в переносном (вместе с наружной рамкой) со скоростью ω_X. При таком сложном движении возникает поворотное ускорение частиц массы ротора, которое вызывает появление сил инерции. Равнодействующая сил инерции создает гироскопический момент $M_{г_Y} = I_Z \omega_р \omega_X = H\omega_X$, воздействующий на внутреннюю рамку, вследствие чего она будет прецессировать, т. е. поворачиваться вокруг своей оси $Y — Y$ с некоторой скоростью ω_Y. Прецессия внутренней рамки будет продолжаться до тех пор, пока на наружную рамку будет действовать внешний момент M_X.

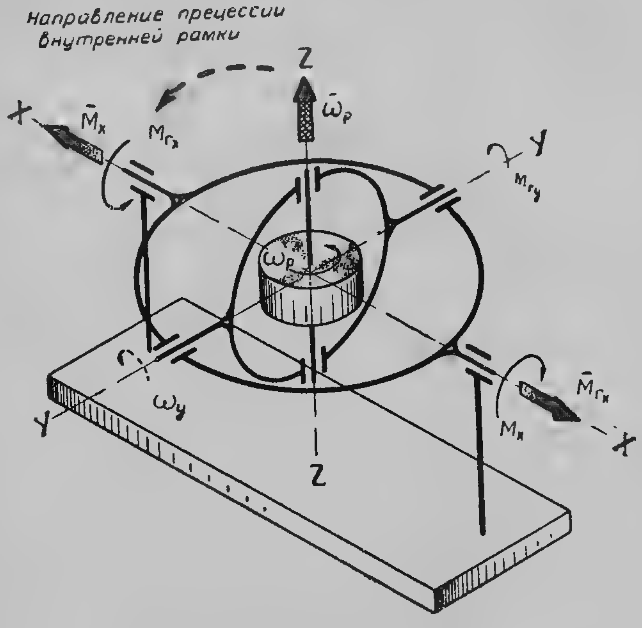


Рис. 1.16. Воздействие внешнего момента на наружную рамку трехстепенного гироскопа

Гироскопический момент $M_{г_Y}$, воздействующий на внутреннюю рамку, поворачивает ее в таком направлении, при котором вектор скорости $\bar{\omega}_р$ по кратчайшему пути стремится совпасть с вектором момента $\bar{M}_X$ (рис. 1.16) или, другими словами, направление вращения ротора, показанное на корпусе ротора стрелкой $\omega_р$, стремится совпасть с направлением внешнего момента M_X.

Поворот внутренней рамки гироскопа вокруг оси $Y — Y$ с угловой скоростью ω_Y вызывает возникновение гироскопического момента $M_{г_X}$, который действует по оси $X — X$, направлен против внешнего момента M_X и препятствует повороту наружной рамки гироскопа. Если момент инерции ротора достаточно велик и ротор имеет высокую скорость вращения, то гироскопический момент $M_{г_X}$ достигает величины, достаточной для противодействия внеш-

нему моменту M_X. Наружная рамка остается практически неподвижной, так как вследствие уравновешивания внешнего момента гироскопическим моментом скорость ω_X вынужденного движения гироскопа ничтожно мала.

Если же приложить внешний момент M_Y к внутренней рамке гироскопа (рис. 1.17), то происходит прецессия наружной рамки со скоростью ω_X вокруг оси $X — X$. Поворот наружной рамки вокруг оси $X — X$ вызывает возникновение гироскопического момента $M_{г_Y}$, который направлен против внешнего момента M_Y и

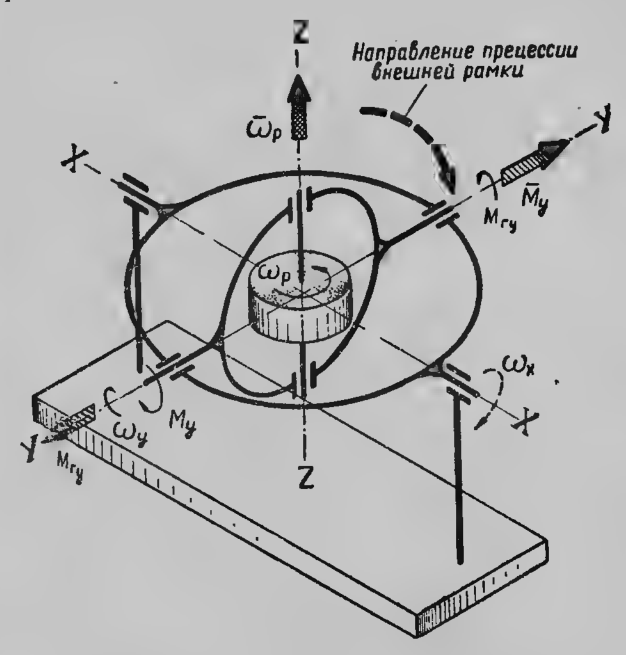


Рис. 1.17. Воздействие внешнего момента на внутреннюю рамку трехстепенного гироскопа

препятствует повороту внутренней рамки гироскопа. Внутренняя рамка поворачиваться вокруг своей оси практически не будет, так как внешний момент будет уравновешен гироскопическим моментом.

Свойство устойчивости трехстепенного уравновешенного гироскопа позволяет применять его в качестве задатчика направления в стабилизаторах вооружения и ракетах, а также в качестве гирополукомпаса и курсоуказателя в навигационной аппаратуре.

Свойство прецессии гироскопа — его отклонение под действием внешних сил или внешних моментов является следствием возникновения гироскопического момента.

Для определения направления прецессии наружной рамки гироскопа при воздействии внешнего момента M_Y, приложенного к оси его внутренней рамки, необходимо, задавшись направлением

вращения ротора ω_p и направлением внешнего момента M_Y (рис. 1.17), совместить вектор $\bar{\omega}_p$ с вектором $\bar{M}_Y$ по кратчайшему пути — это и будет направлением прецессии наружной рамки.

Для определения направления прецессии внутренней рамки гироскопа при воздействии внешнего момента M_X, приложенного к оси его наружной рамки, необходимо (рис. 1.16) совместить вектор $\bar{\omega}_p$ с вектором $\bar{M}_X$ по кратчайшему пути — это и будет направлением прецессии внутренней рамки.

При изменении направления вращения ротора на обратное или же при изменении направления момента, воздействующего на одну из рамок гироскопа, направление прецессии также изменится на обратное.

Итак, при воздействии внешнего момента на наружную рамку гироскопа прецессирует внутренняя рамка и, наоборот, при воздействии на внутреннюю рамку прецессирует наружная. Свойство прецессии используется для изменения положения в пространстве рамок гироскопа.

Двухстепенный гироскоп

Двухстепенный гироскоп (рис. 1.18) отличается от трехстепенного тем, что имеет только две степени свободы: вращение ротора вокруг оси $Z — Z$ и вращение рамки вместе с ротором вокруг оси $Y — Y$.

При повороте основания с некоторой скоростью ω_Y вокруг оси $X — X$ или другой оси, ей параллельной, возникает гироскопический момент $M_{гY}$, который вызывает поворот (прецессию) рамки гироскопа вокруг оси $Y — Y$.

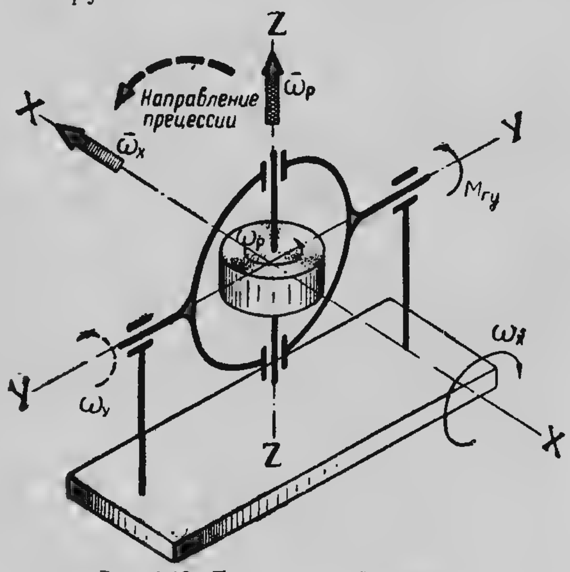


Рис. 1.18. Двухстепенный гироскоп

Гироскопический момент $M_{гY}$ пропорционален скорости поворота основания.

Направление поворота (прецессии) рамки гироскопа вокруг оси $X — X$ под воздействием гироскопического момента $M_{гY}$ можно определить, зная направление вектора скорости поворота основания $\bar{\omega}_X$ и направление вектора скорости вращения ротора $\bar{\omega}_р$. Гироскопический момент $M_{гY}$ поворачивает рамку в таком направлении, при котором вектор скорости вращения ротора $\bar{\omega}_р$ по кратчайшему пути стремится совпасть с вектором $\bar{\omega}_X$ скорости поворота основания; при этом направление вращения ротора будет стремиться совпасть с направлением вращения основания.

Заметим, что при отсутствии противодействующего момента внутренняя рамка поворачивается на максимальный угол 90° независимо от скорости поворота основания, и при этом гироскоп утрачивает свои свойства.

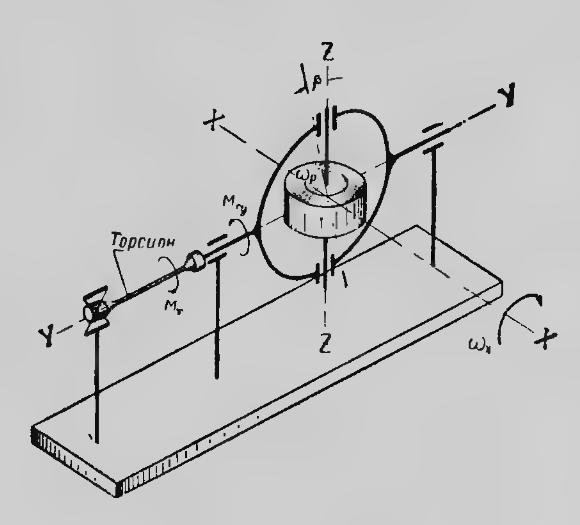


Рис. 1.19. Двухстепенный гироскоп с торсионом

Для получения пропорциональной зависимости между скоростью поворота основания ω_X и углом β поворота рамки гироскопа ось рамки через торсион соединена с основанием (рис. 1.19). Наличие торсиона, обладающего определенной жесткостью, позволяет создавать противодействующий момент $M_т$, пропорциональный углу поворота β рамки гироскопа (углу закрутки торсиона), $M_т = C_т\beta$.

При возникновении прецессии рамки гироскопа торсион будет закручиваться и создавать момент $M_т$, противодействующий гироскопическому моменту $M_{гY}$. Прецессия рамки двухстепенного гироскопа прекращается тогда, когда противодействующий момент

торсиона уравновесит гироскопический момент $M_т = M_{гY}$ или $C_т\beta = H\omega_X$.

Чем больше угловая скорость поворота основания ω_X, тем выше гироскопический момент $M_{гY}$, действующий на рамку, и тем больше угол закрутки торсиона:

$$\beta = \frac{H}{C_т}\omega_X.$$

Таким образом, благодаря наличию торсиона, имеющего определенную жесткость, угол поворота рамки двухстепенного гироскопа будет пропорционален скорости поворота его основания вокруг оси $X - X$. Это свойство позволяет применять двухстепенный гироскоп с торсионом в качестве гиротахометра в датчике для измерения угловой скорости объекта.

Глава 2

УСИЛИТЕЛИ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Усилители предназначены для усиления сигналов управления, которые вырабатываются измерительными или преобразовательными элементами, так как обычно величина этих сигналов недостаточна для приведения в действие исполнительного органа автоматического устройства.

Действие любого усилителя (рис. 2.1) заключается в том, что усилитель в зависимости от величины сигнала на его входе регулирует приток энергии, подводимой к исполнительному органу от внешнего источника. Мощность сигнала управления $Z_{вх}$ всегда меньше мощности сигнала $Z_{вых}$ на выходе усилителя.

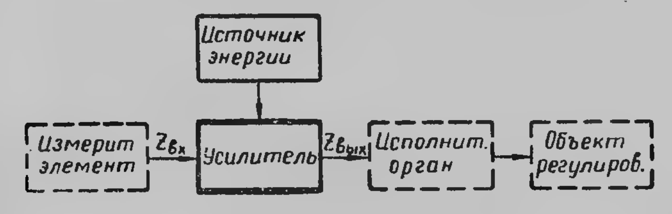


Рис. 2.1. Функциональная схема включения усилителя в автоматическом устройстве

В усилителях в отличие от преобразовательных элементов и датчиков физическая природа сигнала управления при усилении остается неизменной.

Необходимо учитывать, что более правильно было бы называть усилитель управителем мощности, так как в нем входной сигнал не усиливается, а осуществляет только управление мощностью, поступающей от внешнего источника энергии.

В зависимости от физической природы усиливаемых сигналов усилители разделяются на электрические, механические, гидравлические, пневматические и т. п.

В автоматических устройствах наибольшее распространение получили электрические усилители, которые в зависимости от принципа действия разделяются на следующие виды: электронные, полупроводниковые, магнитные, электромашинные, релейные.

Усилительные свойства усилителя, т. е. его способность управлять значительно большей мощностью, чем мощность сигнала управления, оценивается коэффициентом усиления по мощности, который представляет собой отношение выходной мощности к входной:

$$k_p = \frac{P_{вых}}{P_{вх}}.$$

Электрические усилители, кроме того, характеризуются коэффициентами усиления по напряжению и току.

Коэффициентом усиления по напряжению называется отношение напряжения на выходе усилителя к входному напряжению:

$$k_U = \frac{U_{вых}}{U_{вх}},$$

а коэффициентом усиления по току — отношение выходного тока к входному:

$$k_I = \frac{I_{вых}}{I_{вх}}.$$

Быстродействие усилителей оценивается постоянными времени T, которые характеризуют, насколько изменения выходной величины отстают по времени от изменений входной величины. Постоянные времени усилителей вычисляются расчетным путем или определяются экспериментально и выражаются в секундах[1].

Чем быстрее преобразовываются усилителем сигналы управления, тем совершеннее усилитель.

§ 2.1. ЭЛЕКТРОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Электронные усилители, применяемые в автоматических устройствах, выполняются на электронных лампах и предназначаются для усиления напряжения, тока или мощности электрических сигналов управления.

В электронных усилителях используется усилительное свойство электронной лампы, которое заключается в том, что незначительные изменения сеточного напряжения вызывают значительные изменения тока в ее анодной цепи. Поэтому сигнал управления, который нужно усилить, например, напряжение от измерительного элемента, подается на сетку лампы, а выходной усиленный сигнал снимается в анодной цепи лампы увеличенным по напряжению или по мощности.

Усилители напряжения обеспечивают значительное увеличение напряжения сигналов управления при небольшом увеличении их мощности.

Усилители мощности обеспечивают значительное увеличение сигналов управления по току при небольшом увеличении напряжения. Эти усилители подобны усилителям напряжения, но отличаются от них параметрами электрических схем и ламп.

[1] Величина постоянной времени T равна времени (*сек*), за которое выходная величина достигает 0,63 $Z_{вых.уст}$.

В зависимости от рода тока и характера его преобразования электронные усилители можно разделить на следующие типы:

— усилители переменного тока;

— усилители постоянного тока;

— катодные повторители (применяются только как усилители мощности переменного или постоянного тока);

— модуляторы (одновременно с усилением преобразуют постоянный ток в переменный);

— фазочувствительные усилители (одновременно с усилением преобразуют переменный ток в постоянный).

В танковых автоматических устройствах наибольшее распространение получили усилители напряжения переменного тока, фазочувствительные усилители и катодные повторители. Для увеличения общего коэффициента усиления системы несколько электронных усилителей соединяется последовательно, причем первые каскады усилителя являются усилителями напряжения, а последующие — усилителями мощности.

Усилитель переменного тока. Электронный усилитель переменного тока предназначен для предварительного усиления напряжения сигналов переменного тока. В танковых автоматических устройствах применяется электронный усилитель напряжения переменного тока на сопротивлениях с емкостной связью. Схема такого усилителя показана на рис. 2.2.

Основными элементами электронного усилителя переменного тока являются: электронная лампа (триод) *Л*, сопротивление R_a, которое является анодной нагрузкой лампы, разделительный конденсатор C_p и источник анодного питания, напряжение которого равно E_a.

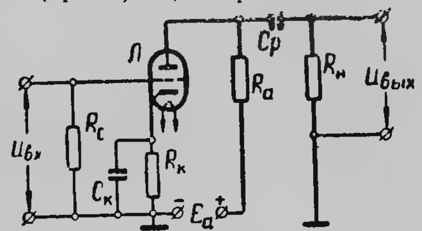


Рис. 2.2. Электронный усилитель напряжения

Входной сигнал (напряжение $U_{вх}$ переменного тока) подается на управляющую сетку лампы *Л*.

Выходной сигнал (напряжение $U_{вых}$) снимается через разделительный конденсатор C_p с сопротивления нагрузки $R_н$.

При подаче сигнала на вход усилителя в виде напряжения переменного тока в анодной цепи лампы *Л* ток будет изменяться. Анодный ток будет проходить от положительного зажима источника анодного напряжения по сопротивлению R_a через лампу *Л* к отрицательному зажиму источника.

На сопротивлении R_a будет происходить падение напряжения, величина которого зависит от величины тока, проходящего через лампу *Л*. Чем больше ток, тем больше будет падение напряжения. Переменная составляющая этого падения напряжения будет проходить через разделительный конденсатор C_p на нагрузку —

сопротивление $R_н$. При этом по сопротивлению $R_н$ будет проходить переменный ток. Падение напряжения на сопротивлении $R_н$ является выходным сигналом усилителя.

Обычно усилители напряжения выполняются многокаскадными и собираются на нескольких лампах. При этом выходное напряжение с предыдущей лампы подается на управляющую сетку последующей лампы.

Помимо усилителей переменного тока с реостатно-емкостной связью получили распространение усилители переменного тока с трансформаторной связью.

В усилителе этого типа нагрузкой, которая включается в анодную цепь, является первичная обмотка трансформатора. Вторичная обмотка этого трансформатора подключается к управляющей сетке лампы последующего каскада усиления. Таким образом, промежуточный трансформатор будет выполнять те же функции, что и разделительный конденсатор.

Электронный усилитель с трансформаторной связью позволяет получить больший коэффициент усиления, чем усилитель с реостатно-емкостной связью, так как в схеме применяется повышающий трансформатор.

Электронный фазочувствительный усилитель. Фазочувствительные усилители (ФЧУ) предназначены для усиления и одновременного преобразования переменного тока определенной фазы в напряжение постоянного тока соответствующей полярности.

Фазочувствительное выпрямление осуществляется благодаря способности электронных ламп пропускать ток только в одном определенном направлении, а усиление входного сигнала осуществляется за счет способности лампы при незначительных изменениях напряжения на сетке сильно изменять ток в анодной цепи.

В танковых автоматизированных системах фазочувствительные усилители применяются в тех случаях, когда входной сигнал получают от датчика переменного тока (например, вращающегося трансформатора), а исполнительным органом является устройство постоянного тока (например, электромагнит управления или поляризованное реле).

Рассмотрим принцип действия фазочувствительного усилителя с раздельным питанием анодов, схема которого показана на рис. 2.3. В данной схеме применены два одинаковых триода Л1 и Л2, включенные встречно. Анодные напряжения U_{a_1} и U_{a_2} к лампам Л1 и Л2 подводятся от двух одинаковых вторичных обмоток w_1 и w_2 силового трансформатора Тр. Первичная обмотка w_0 трансформатора Тр питается переменным напряжением $\sim U_0$.

Входной сигнал подается на управляющие сетки ламп Л1 и Л2 в виде напряжения $\sim U_{вх}$ переменного тока той же частоты, что и напряжение $\sim U_0$. При этом напряжение $\sim U_{вх}$ может совпадать по фазе с анодным напряжением U_{a_1} или U_{a_2}. В то время, когда напряжение $\sim U_{вх}$ совпадает по фазе с анодным напряжением U_{a_1} лампы Л1, оно находится в противофазе (смещено на 180°) с анодным напряжением U_{a_2} лампы Л2. Поэтому лампы Л1 и Л2 могут проводить ток только поочередно, когда их аноды будут иметь положительный потенциал.

В рассматриваемой схеме нагрузкой фазочувствительного усилителя являются обмотки О1 и О2 электромагнита, имеющие одинаковые сопротивления.

Катоды обеих ламп, средняя точка делителя напряжения и обмотки О1 и О2 соединены с «массой».

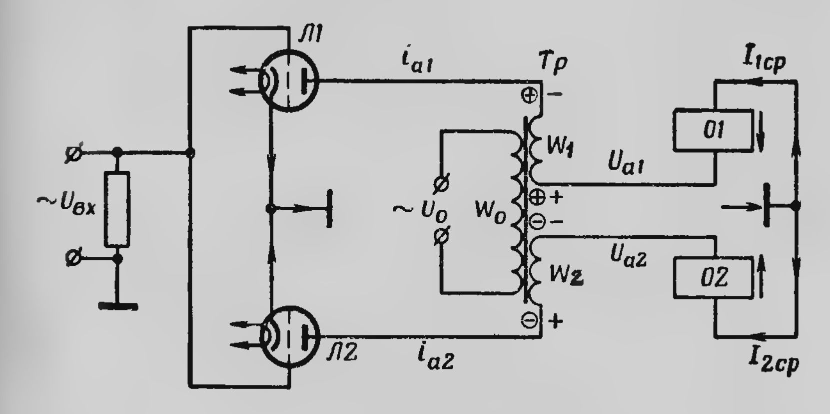


Рис. 2.3. Принципиальная схема фазочувствительного усилителя с раздельным питанием анодов

Таким образом, в схеме фазочувствительного усилителя можно выделить два симметричных контура:

— контур лампы Л1: вторичная обмотка w_1 трансформатора Тр, лампа Л1, «масса», обмотка О1;

— контур лампы Л2: вторичная обмотка w_2 трансформатора Тр, лампа Л2, «масса», обмотка О2.

При отсутствии входного сигнала ($\sim U_{вх}=0$) усилитель работает следующим образом.

В положительный полупериод анодного напряжения U_{a_1}, условно обозначенного на зажимах вторичной обмотки w_1 трансформатора знаками + и — (в кружках), в контуре лампы Л1 протекает ток i_{a_1} от зажима «+» вторичной обмотки w_1, через лампу Л1, от катода лампы Л1 на «массу», по обмотке О1 в направлении, показанном стрелкой, к зажиму «—» вторичной обмотки w_1 (рис. 2.4, *а*).

В это же время анодное напряжение U_{a_2} приложено в обратном направлении, что условно обозначено на зажимах вторичной обмотки w_2 знаками + и — (в кружках). Поэтому лампа Л2 заперта и тока в ее контуре нет (рис. 2.4, *а*).

В следующий полупериод, условно обозначенный на зажимах вторичных обмоток w_1 и w_2 (рис. 2.3) трансформатора знаками

+ и — (в кружках), ток i_{a_2} будет проходить только в контуре лампы Л2. В этот полупериод лампа Л1 заперта и тока в ее контуре нет.

Таким образом, через обмотки О1 и О2 поочередно (в каждый полупериод) проходят пульсирующие токи i_{a_1} и i_{a_2}, средние значения этих токов равны между собой $I_{1ср}=I_{2ср}$. Вследствие того что обмотки О1 и О2 включены встречно их суммарное действие в этом случае будет равно нулю.

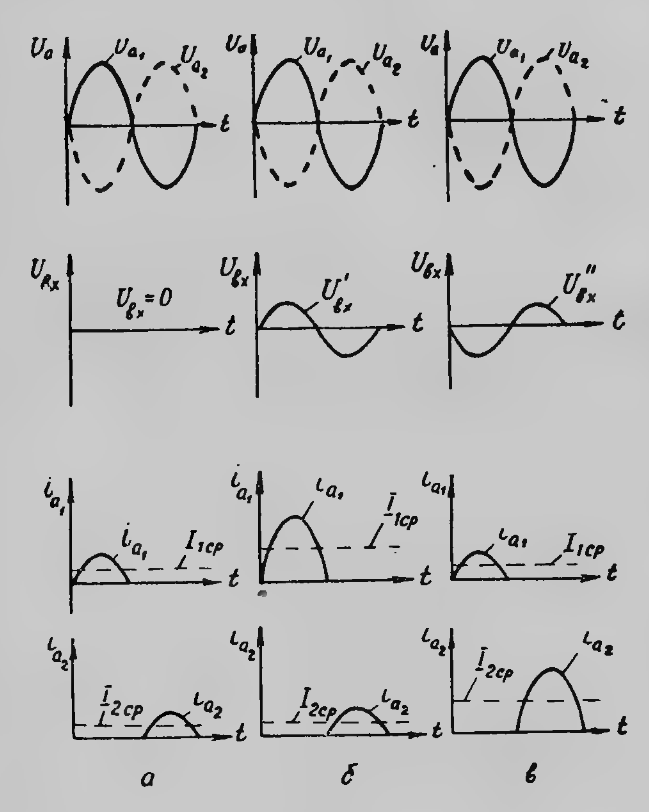


Рис. 2.4. Изменение напряжений и токов в контурах фазочувствительного усилителя:

а — входной сигнал отсутствует $U_{вх}=0$; *б* — входной сигнал $U_{вх}$ совпадает по фазе с анодным напряжением U_{a_1}; *в* — входной сигнал $U_{вх}$ совпадает по фазе с анодным напряжением U_{a_2} (фаза $U_{вх}$ изменилась на 180°)

Если на вход фазочувствительного усилителя будет подано некоторое управляющее напряжение $U_{вх}$, по фазе совпадающее, например, с анодным напряжением U_{a_1}, то потенциал сетки лампы Л1 возрастет и ее проводимость увеличится, а потенциал сетки лампы Л2 станет отрицательным и ее проводимость уменьшится.

В соответствии с таким изменением проводимостей ламп Л1 и Л2 изменятся анодные токи: ток i_{a_1} в цепи лампы Л1 увеличится, а ток i_{a_2} в цепи лампы Л2 уменьшится (рис. 2.4, *б*). При этом среднее значение тока $I_{1ср}$ в обмотке О1 увеличится, а среднее значение тока $I_{2ср}$ в обмотке О2 уменьшится.

Благодаря этому намагничивающая сила, создаваемая обмоткой О1, будет больше намагничивающей силы, которая создается обмоткой О2. Суммарная намагничивающая сила создает результирующий магнитный поток определенной полярности (знака).

Увеличение амплитуды входного напряжения будет сопровождаться дальнейшим увеличением тока в обмотке О1 (контуре лампы Л1) и уменьшением тока в обмотке О2 (контуре лампы Л2), а следовательно, увеличением результирующего магнитного потока данного направления.

При изменении фазы входного сигнала на 180° среднее значение тока $I_{1ср}$ в первом контуре уменьшится, а во втором контуре — $I_{2ср}$ увеличится (рис. 2.4, *в*). При этом намагничивающая сила, создаваемая обмоткой О2, будет больше намагничивающей силы, создаваемой обмоткой О1. Вследствие этого направление результирующего магнитного потока изменится на обратное.

Таким образом, применяя схему ФЧУ, выполненную на ламповых триодах, изменением амплитуды входного сигнала, т. е. изменением амплитуды сеточного напряжения, можно изменять величину выходного сигнала (величину результирующего магнитного потока), а изменением фазы входного сигнала — знак выходного сигнала (направление результирующего магнитного потока).

Достоинством фазочувствительных усилителей является значительная величина коэффициентов усиления по напряжению и по мощнонсти.

Недостатком фазочувствительного усилителя является зависимость выходного напряжения от величины питающего напряжения $\sim U_0$ и параметров ламп.

Фазочувствительный катодный повторитель (ФЧКП). В рассмотренной схеме фазочувствительного усилителя для обеспечения высоких значений коэффициентов усиления необходимо, чтобы нагрузка ФЧУ была минимальной. Это обеспечивается подбором соответствующих сопротивлений (в данном случае сопротивлений обмоток О1 и О2), величина которых должна быть достаточно большой. В тех случаях, когда это условие не выполнено, применяют фазочувствительный каскад, выполненный по схеме катодного повторителя,— фазочувствительный катодный повторитель (рис. 2.5).

Как и в схеме ФЧУ, каскад выполнен на двух усилительных лампах (триодах) Л1 и Л2, аноды которых питаются переменным током от вторичной обмотки силового трансформатора Тр, и состоит из двух симметричных контуров. Однако в отличие от схемы ФЧУ в фазочувствительном катодном повторителе нагрузка (сопротивления R1 и R2) включена в цепи катодов электронных

ламп. Это позволяет включать на выход ФЧКП элементы с относительно небольшими сопротивлениями.

Принцип работы ФЧКП аналогичен рассмотренному выше принципу работы ФЧУ.

Второй особенностью схемы ФЧКП является наличие в каждом контуре глубокой (100%) обратной связи по напряжению (напряжение U_g на сетке каждой лампы равно разности управляющего напряжения $\sim U_{вх}$ и падения напряжения на соответствующем сопротивлении нагрузки). Ввиду этого коэффициент усиления по напряжению ФЧКП невелик (он является лишь усилителем тока

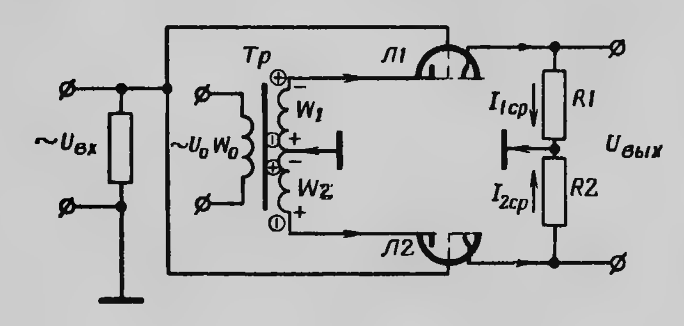


Рис. 2.5. Принципиальная схема фазочувствительного катодного повторителя

и мощности), но отличается исключительной стабильностью и эксплуатационные изменения напряжения питания практически не сказываются на величине выходного напряжения катодного повторителя. Например, при уменьшении напряжения питания ток в цепи нагрузки и выходное напряжение $U_{вых}$ будут уменьшаться, а сеточное напряжение U_g возрастет, так как на сетку каждой лампы подается половина разности напряжений:

$$U_g = U_{вх} - 0{,}5\, U_{вых}.$$

Увеличение сеточного напряжения $U_д$ увеличит проводимость соответствующей лампы, и прежнее значение анодного тока снова восстановится.

Фазочувствительный выпрямитель. В тех случаях, когда необходимо осуществить только фазочувствительное выпрямление (без усиления) переменного тока, применяется схема на полупроводниковых диодах.

Упрощенная принципиальная схема полупроводникового фазочувствительного выпрямителя показана на рис. 2.6.

Основными элементами полупроводникового выпрямителя являются: диоды Д1 и Д2; питающий трансформатор Тр, первичная обмотка О1 которого подключена к источнику переменного тока с напряжением $\sim U_0$; сопротивление $R_{вх}$, на которое подается переменное напряжение входного сигнала $U_{вх}$; сопротивления нагрузки $R_{н1}$ и $R_{н2}$ ($R_{н1} = R_{н2}$), с зажимов A и $Б$ которых снимается постоянное напряжение выходного сигнала $U_{вых}$; сопротивления R1

и R2 (R1=R2) делителя напряжения; конденсаторы С1 и С2, предназначенные для сглаживания пульсаций выходного напряжения.

При отсутствии входного сигнала $U_{вх}=0$ средние значения выпрямленного тока в сопротивлениях нагрузки $R_{н1}$ и $R_{н2}$ равны и потенциалы выходных зажимов A и $Б$ будут одинаковыми, выходное напряжение равно нулю ($U_{вых}=0$) (рис. 2.7, *а*).

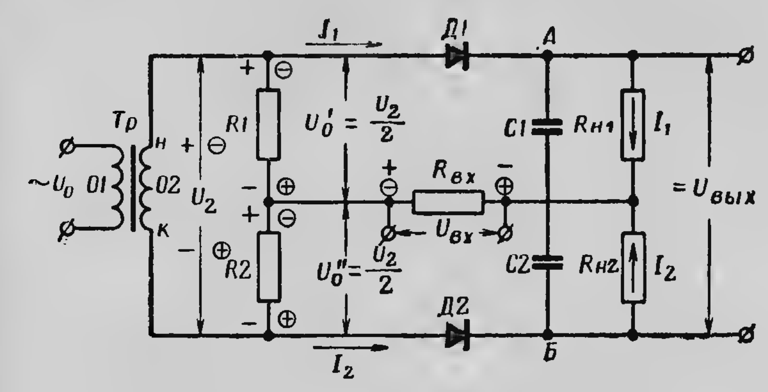


Рис. 2.6. Принципиальная схема фазочувствительного выпрямителя

Если же на вход выпрямителя ($R_{вх}$) будет подано некоторое напряжение $\sim U_{вх}$, которое должно иметь такую же частоту, что и напряжение $\sim U_0$, приложенное к первичной обмотке О1 трансформатора, то работа выпрямителя будет проходить следующим образом.

Допустим, что напряжение $\sim U_{вх}$ по фазе, условно обозначенной на зажимах $R_{вх}$ знаками «+» и «—», совпадает с напряжением U_0', приложенным к сопротивлению R1, условно обозначенным на зажимах *R1* знаками «—» и «+». При этом ток i_1 в контуре диода Д1 будет возрастать, так как его величина будет определяться суммой двух напряжений $U_\Sigma^1 = U_0' + U_{вх}'$. В этом случае напряжение входного сигнала действует согласно с напряжением, приложенным к сопротивлению R1 (оно совпадает с ним по фазе, см. знаки «+» и «—» на зажимах $R_{вх}$ и *R1* на рис. 2.6 и графики на рис. 2.7, *б*).

В следующий полупериод, обозначенный знаками — и + (в кружках), напряжение $U_{вх}'$ входного сигнала действует встречно напряжению U_0'' вторичной обмотки, приложенному к сопротивлению R2, поэтому ток i_2 в контуре диода Д2 будет уменьшаться, так как его величина определяется разностью напряжений $U_0'' - U_{вх}' = U_\Sigma''$.

Из сказанного следует, что при увеличении входного напряжения $U_{вх}'$ ток i_1 возрастает, а i_2 уменьшается. При этом возрастает разность потенциалов на зажимах A и $Б$, а следовательно, и величина выпрямленного выходного напряжения — $U_{вых}$ (см. пунктир на рис. 2.7, *б*).

При данной фазе входного напряжения $U'_{вх}$ увеличение его амплитуды сопровождалось увеличением тока i_1 и уменьшением тока i_2. Именно этим изменением токов определялась полярность напряжения $U_{вых}$, снимаемого с выводных зажимов A и $Б$.

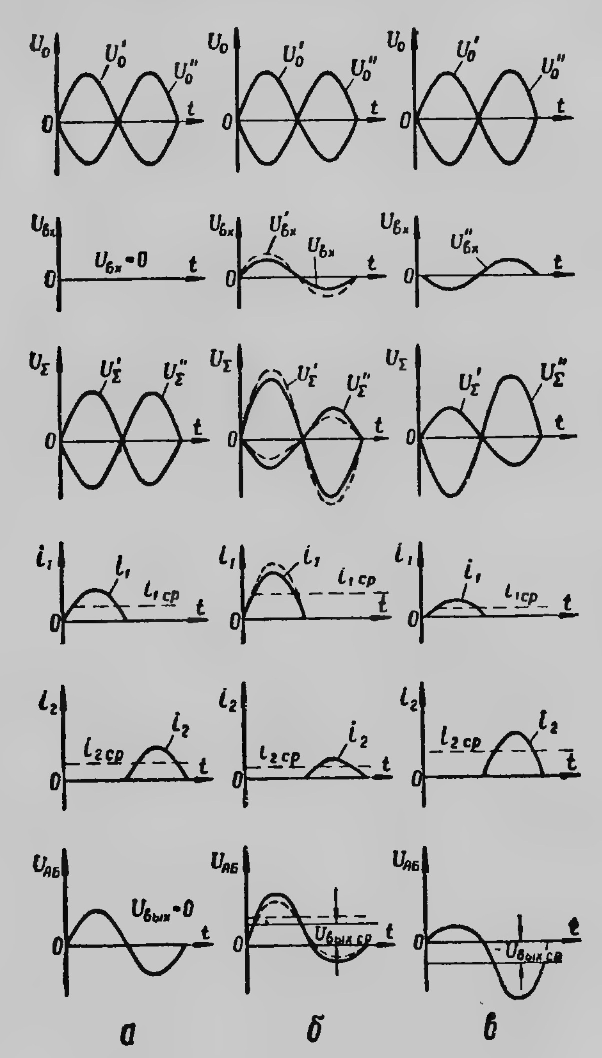


Рис. 2.7. Изменение напряжений и токов в контурах фазочувствительного выпрямителя:
а — входной сигнал равен нулю $U_{вх}=0$; *б* — входной сигнал $U_{вх}=U'_{вх}$ совпадает по фазе с питающим напряжением U'_0; *в* — входной сигнал $U_{вх}=U''_{вх}$ совпадает с питающим напряжением U''_0 (фаза $U_{вх}$ изменилась на 180°)

Если изменить фазу входного напряжения на 180° (теперь напряжение $U''_{вх}$ будет совпадать по фазе с напряжением U'_0, питающим второй контур; рис. 2.7, *в*), то это вызовет увеличение тока i_2 в контуре диода Д2 и уменьшение тока i_1.

При этом потенциал зажима A станет меньше потенциала зажима $Б$, вследствие чего выходное напряжение изменит свою полярность на обратную.

Таким образом, напряжение на выходе фазочувствительного выпрямителя пропорционально амплитуде входного напряжения, а его полярность изменяется на обратную при изменении фазы входного напряжения на 180°.

Основным достоинством полупроводникового фазочувствительного выпрямителя является простота его устройства. Недостатком подобных фазочувствительных выпрямителей является однополупериодное выпрямление тока, вследствие чего коэффициент преобразования получается незначительным (меньше 0,5).

§ 2.2. МАГНИТНЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Магнитные усилители предназначены для регулирования величины переменного тока в цепи нагрузки путем изменения постоянного тока в обмотке управления.

Простейший магнитный усилитель (рис. 2.8) представляет собой замкнутый сердечник из ферромагнитного материала, на котором расположены две обмотки: рабочая обмотка $O_\sim$ (обмотка переменного тока) и обмотка управления $O_у$ (обмотка постоянного тока).

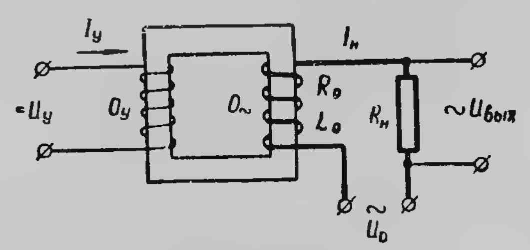


Рис. 2.8. Принципиальная схема простейшего магнитного усилителя

Входной сигнал (напряжение $U_у$) подается на обмотку управления через потенциометр $П$ от источника постоянного тока.

Рабочая обмотка $O_\sim$ подключена последовательно с нагрузкой $R_н$ к источнику переменного тока ($U_\sim$).

Выходной величиной является напряжение $U_{вых}$ на нагрузке $R_н$.

Выясним, как влияет изменение величины и направления тока в обмотке управления $O_у$ на величину тока $I_н$ в цепи нагрузки.

Полное сопротивление рабочей цепи (цепи переменного тока) состоит из активного сопротивления и индуктивного сопротивления.

Активное сопротивление складывается из сопротивления R_0 рабочей обмотки и сопротивления $R_н$ нагрузки. Индуктивным сопротивлением $X_L = \omega L_0$ обладает рабочая обмотка $O_{\sim}$. Индуктивное сопротивление пропорционально индуктивности L_0 рабочей обмотки и частоте f переменного тока.

Поэтому полное сопротивление рабочей цепи равно

$$Z = \sqrt{(R_о + R_н)^2 + (\omega L_о)^2},$$

где $R_о$ — активное сопротивление обмотки $O_{\sim}$;

$R_н$ — активное сопротивление нагрузки;

ω — угловая частота переменного тока с частотой f:

$$\omega = 2\pi f;$$

L_0 — индуктивность обмотки $O_{\sim}$.

В первом приближении будем полагать, что активное сопротивление $(R_0 + R_н)$ рабочей цепи мало по сравнению с индуктивным сопротивлением (ωL_0); пренебрегая активным сопротивлением, можно считать, что полное сопротивление цепи равно индуктивному сопротивлению рабочей обмотки $Z \approx \omega L_0$.

Величина тока $I_н$ в цепи нагрузки при отсутствии тока в цепи управления $(I_у = 0)$ может быть найдена по закону Ома для цепи переменного тока:

$$I_н = \frac{U_о}{Z} \cong \frac{U_о}{\omega L_о}.$$

Из этого выражения следует, что ток $I_н$ в цепи нагрузки зависит от индуктивности $L_о$ рабочей обмотки $O_{\sim}$.

Индуктивность рабочей обмотки, намотанной на стальной сердечник, не является постоянной величиной. Она зависит от степени намагниченности сердечника, т. е. от величины магнитной проницаемости μ сердечника, и определяется следующим соотношением:

$$L_0 = K\mu.$$

Подставляя это соотношение в приведенное выше, получим

$$I_н = \frac{U_о}{\omega K\mu} = K' \frac{1}{\mu},$$

где $K' = \frac{U_о}{\omega K}$ — постоянная величина.

Изменяя магнитную проницаемость μ сердечника, можно изменять индуктивное сопротивление рабочей обмотки $O_{\sim}$, а следовательно, и ток $I_н$ в цепи нагрузки.

Магнитная проницаемость характеризует способность стального сердечника с обмоткой создавать магнитный поток. При увеличении тока в обмотке происходит намагничивание сердечника и магнитный поток возрастает пропорционально току в обмотке (магнитная проницаемость велика), затем наступает так называемое «насыщение» и при дальнейшем увеличении тока в обмотке

магнитный поток сердечника возрастает очень медленно — магнитная проницаемость значительно уменьшилась (рис. 2.9).

Сердечник магнитного усилителя намагничивается постоянным током $I_у$, который проходит по обмотке управления $O_у$, и переменным током $I_н$, проходящим по рабочей обмотке $O_{\sim}$. Суммарная напряженность магнитного поля равна

$$H = H_у + H_{\sim},$$

где $H_у$ — постоянная составляющая напряженности поля, создаваемая постоянным током $I_у$;

$H_{\sim}$ — переменная составляющая напряженности поля, создаваемая переменным током $I_н$.

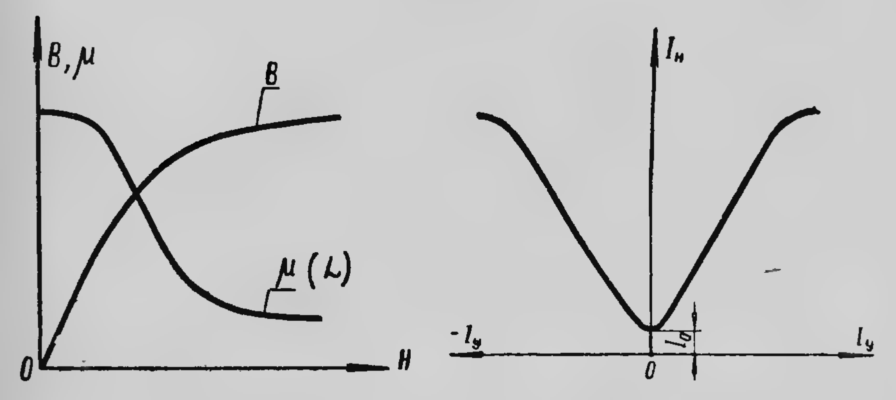


Рис. 2.9. Характеристики ферромагнитного сердечника

Рис. 2.10. Характеристики простейшего магнитного усилителя

Изменяя ток $I_у$ в обмотке управления, можно изменять напряженность H магнитного поля сердечника, а следовательно, и магнитную проницаемость μ сердечника. Соответственно изменению магнитной проницаемости будет изменяться индуктивность $L_о$ рабочей обмотки переменного тока и ее индуктивное сопротивление $(\omega L_о)$: при увеличении тока $I_у$ в обмотке управления индуктивное сопротивление рабочей обмотки будет уменьшаться, а при его уменьшении — увеличиваться. Изменение индуктивного сопротивления рабочей обмотки $O_{\sim}$ вызовет изменение тока $I_н$ в рабочей цепи магнитного усилителя.

При увеличении тока $I_у$ в обмотке управления ток $I_н$ в цепи нагрузки будет возрастать. Когда $U_у = 0$ и тока в цепи обмотки управления нет, по рабочей цепи будет проходить ток холостого хода $I_о$.

Зависимость тока $I_н$ в цепи нагрузки от величины и направления тока $I_у$ в обмотке управления показана на рис. 2.10.

Независимо от направления тока в обмотке управления $O_у$ ток в цепи нагрузки возрастает, т. е. простейший магнитный усилитель не реагирует на полярность входного сигнала.

Физически взаимосвязь между намагниченностью сердечника, магнитной проницаемостью μ и индуктивностью L_0 рабочей обмотки переменного тока магнитного усилителя можно пояснить, исходя из следующих положений.

При отсутствии тока в обмотке управления $O_у$ магнитная проницаемость сердечника велика; при включении рабочей обмотки $O_{\sim}$ в цепь переменного тока в ней создается значительная э. д. с. самоиндукции, действующая встречно приложенному напряжению, поэтому ток в обмотке $O_{\sim}$ уменьшается. Величина э. д. с. самоиндукции, действующей встречно приложенному напряжению, оценивается индуктивным сопротивлением обмотки $X_l = \omega L_0$.

При увеличении тока в обмотке управления $O_у$ магнитная проницаемость сердечника уменьшается, уменьшается индуктивность и, следовательно, э. д. с. самоиндукции, действующая встречно приложенному напряжению в обмотках переменного тока, также уменьшается. Вследствие этого ток в цепи нагрузки возрастет. Таким образом, чем больше сердечник будет намагничен постоянным током, тем меньше магнитная проницаемость и тем меньше индуктивное сопротивление рабочей обмотки.

Рассмотренный выше простейший магнитный усилитель, выполненный в виде управляемого дросселя, не получил практического применения. Это обусловлено тем, что переменный магнитный поток рабочей обмотки $O_{\sim}$ индуктирует в обмотке управления $O_у$ переменную э. д. с. Величина этой э. д. с. может быть весьма значительной, так как число витков обмотки управления обычно больше числа витков рабочей обмотки $O_{\sim}$. Поэтому работа цепи управления может быть нарушена.

Для устранения вредного влияния переменного магнитного потока на цепь управления применяют магнитные усилители, собранные на двух сердечниках, или магнитные усилители с трехстержневым сердечником.

Схема магнитного усилителя, выполненного на двух сердечниках с общей обмоткой управления, показана на рис. 2.11, *а*. При этом переменный магнитный поток $\Phi_{\sim}$, создаваемый обмотками $O_{\sim}$, создает в обмотках управления переменную э. д. с. Так как обмотки управления включены встречно, то создаваемые этими магнитными потоками э. д. с. взаимно компенсируются. Поэтому переменного тока в цепи управления нет.

Два двухстержневых сердечника магнитного усилителя могут быть заменены одним трехстержневым сердечником (рис. 2.11, *б*). В этом случае на крайних стержнях размещают две половины рабочей обмотки $O'_{\sim}$ и $O''_{\sim}$ переменного тока, которые включаются согласно, а обмотка управления $O_у$ размещается на среднем стержне.

Переменный магнитный поток $\Phi_{\sim}$, создаваемый двумя согласно включенными обмотками $O'_{\sim}$ и $O''_{\sim}$, будет проходить только по

крайним стержням. В среднем стержне переменные магнитные потоки, создаваемые обмотками $O'_{\sim}$ и $O''_{\sim}$, взаимно уравновешиваются и переменная э. д. с. в обмотке управления будет равна нулю.

Постоянный магнитный поток $\Phi_у$, создаваемый обмоткой управления $O_у$, проходит по среднему стержню и равномерно распределяется по двум крайним стержням.

Для питания нагрузки постоянного тока в цепь рабочих обмоток магнитного усилителя включается выпрямитель.

Изображенные на рис. 2.11 схемы свободны от основного недостатка простейшего магнитного усилителя (управляемого дросселя): в обмотках управления этих магнитных усилителей отсутствует переменная э. д. с. Однако эти магнитные усилители не реагируют на знак входного сигнала (на полярность входного напряжения), поэтому их характеристики будут аналогичны характеристике простейшего магнитного усилителя (рис. 2.10).

Простейшие магнитные усилители помимо того, что не чувствительны к знаку входного сигнала, обладают еще рядом недостатков:

— недостаточное усиление по мощности;

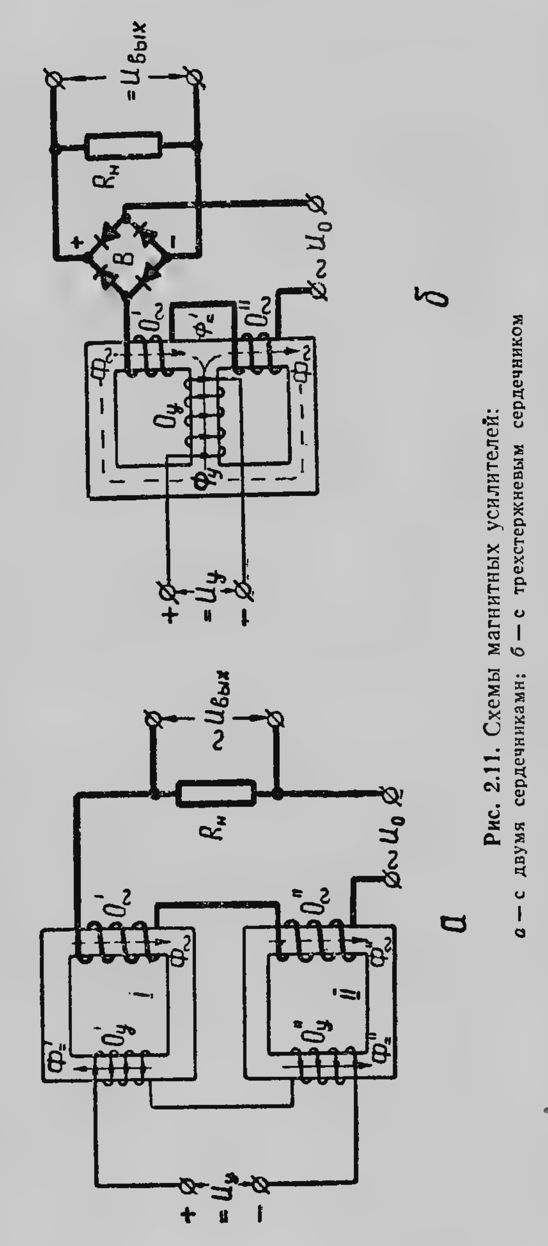


Рис. 2.11. Схемы магнитных усилителей:
а — с двумя сердечниками; *б* — с трехстержневым сердечником

— наличие тока холостого хода в цепи нагрузки при отсутствии входного сигнала.

Эти недостатки могут быть устранены применением специальных схем магнитных усилителей.

Магнитный усилитель с обмоткой начального подмагничивания (рис. 2.12) применяется для того, чтобы магнитный усилитель реагировал не только на величину, но и на знак (полярность) входного сигнала. Эта обмотка размещается рядом с обмоткой управления на тех же стержнях сердечников (в нашем примере на среднем стержне). Через нее проходит постоянный по величине и направлению ток, который создает постоянное подмагничивание сердечника.

Если направление тока в обмотке управления $w_у$ будет совпадать с направлением тока в обмотке начального подмагничивания $w_{н.п}$, то подмагничивание сердечника будет увеличиваться, что вызовет уменьшение индуктивного сопротивления рабочей обмотки $O'_{\sim}$, $O''_{\sim}$ и увеличение тока в цепи нагрузки.

При изменении направления тока в обмотке управления $O_у$ подмагничивание сердечника будет уменьшаться, индуктивное сопротивление рабочей обмотки возрастет и ток в цепи нагрузки уменьшится.

Благодаря действию обмотки начального подмагничивания характеристика магнитного усилителя смещается параллельно оси тока управления $I_у$. Направление смещения зависит от направления тока в обмотке начального подмагничивания, а его величина (O—O) от силы тока в этой обмотке.

Для того чтобы пояснить, как происходит смещение характеристики магнитного усилителя, предположим, что ток в обмотке начального подмагничивания $O_{н.п}$ равен нулю. В этом случае при токе в обмотке управления, равном $+I_у$, ток в цепи нагрузки достигает величины $I'_н$.

Очевидно, что такой же ток $I'_н$ в цепи нагрузки можно получить при подмагничивании сердечника только одной обмоткой начального подмагничивания $O_{н.п}$, а ток в обмотке управления уменьшить до нуля (см. точку B на характеристике рис. 2.12).

Если теперь оставить ток в обмотке начального подмагничивания $O_{н.п}$ неизменным и увеличивать ток в обмотке управления в положительном направлении ($+I_у$), то ток в цепи нагрузки будет возрастать, начиная от точки B, так как сердечник будет намагничиваться суммарной намагничивающей силой обеих обмоток. При изменении направления тока в обмотке управления $I_у$ на обратное ($-I_у$) намагничивание сердечника будет уменьшаться и ток в цепи нагрузки также будет уменьшаться (начиная от точки B в сторону меньших значений).

Прямолинейный участок характеристики со средней точкой B будет являться рабочей частью характеристики магнитного усилителя с начальным подмагничиванием.

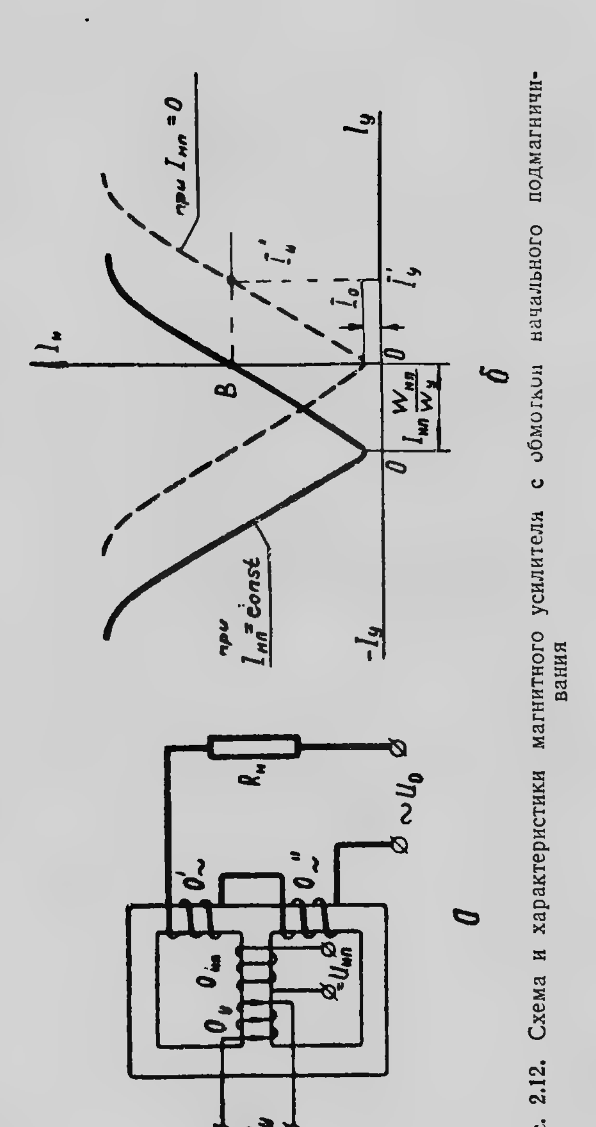


Рис. 2.12. Схема и характеристики магнитного усилителя с обмоткой начального подмагничивания

Серьезным недостатком магнитного усилителя с обмоткой начального подмагничивания является резкое увеличение тока холостого хода в цепи нагрузки от величины I_0 до $I'_н$. Поэтому магнитный усилитель с обмоткой начального подмагничивания применяется в качестве составного элемента двухтактных магнитных усилителей.

Магнитный усилитель с обратной связью. Введение в схему магнитного усилителя обратных связей имеет целью повысить коэффициент усиления магнитного усилителя по мощности $k_р$, так как даже при применении сердечников из специальных сплавов с высокой магнитной проницаемостью (пермаллой) коэффициент усиления магнитного усилителя будет относительно небольшим ($k_р=10^4$).

В качестве примера рассмотрим применение положительной обратной связи (рис. 2.13).

Положительная обратная связь в магнитном усилителе осуществляется с помощью обмотки обратной связи $O_{ос}$, которая действует согласно с обмоткой управления $O_у$. Эта обмотка через

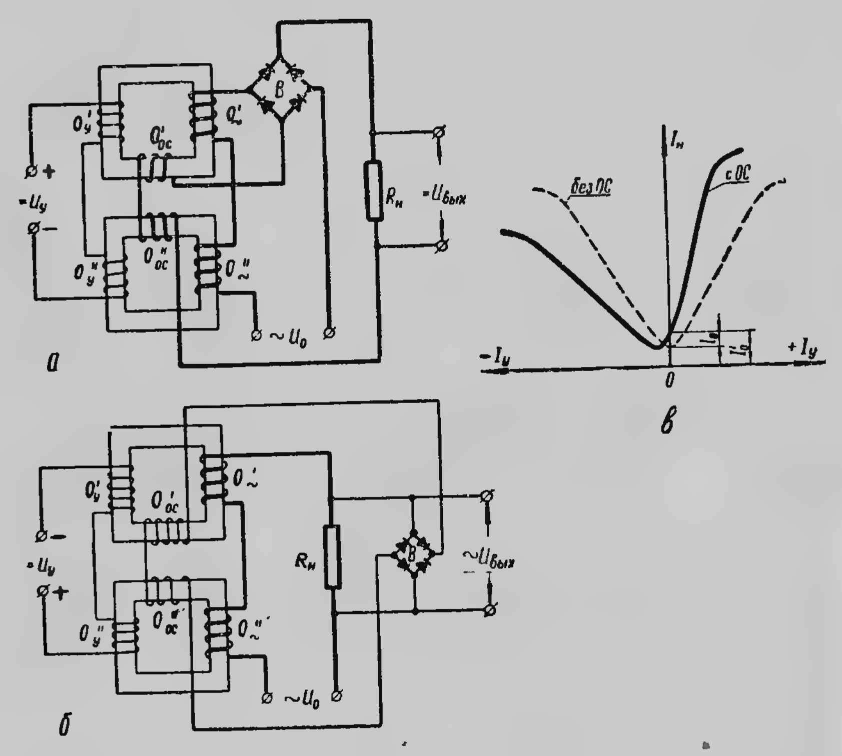


Рис. 2.13. Схема и характеристики магнитного усилителя с положительной обратной связью:

а — схема усилителя с нагрузкой постоянного тока; *б* — схема усилителя с нагрузкой переменного тока; *в* — характеристики усилителя

выпрямительный мост *В* включена последовательно (рис. 2.13, *а*) или параллельно (рис. 2.13, *б*) в цепь нагрузки.

При возрастании тока в обмотке управления (в положительном направлении $+I_у$) ток в цепи нагрузки будет возрастать (рис. 2.13, *в*). Этот ток, проходя по обмотке обратной связи $O_{ос}$, вызовет дополнительное подмагничивание сердечника, что приведет к дальнейшему росту тока в цепи нагрузки. Если же изменить направление тока в обмотке управления $O_у$ на обратное и увеличивать его, то подмагничивание сердечника уменьшится, так как действие обмотки управления будет встречным действию обмотки обратной связи. При этом ток в цепи нагрузки будет увеличиваться очень медленно.

Характеристика магнитного усилителя с обратной связью представляет собой несколько смещенную и повернутую характеристику обычного магнитного усилителя (рис. 2.13, *в*). Рабочей ветвью этой характеристики является ее правая ветвь.

При работе магнитного усилителя с положительной обратной связью в правой части характеристики коэффициент усиления доходит до величины $k_р=5\cdot10^5$.

Положительную обратную связь в магнитном усилителе можно осуществить и без применения специальной обмотки, если последовательно с обмотками переменного тока включить однополупериодные выпрямители (так называемая схема магнитного усилителя с внутренней обратной связью), но в этом случае нагрузка обязательно должна быть потребителем постоянного тока.

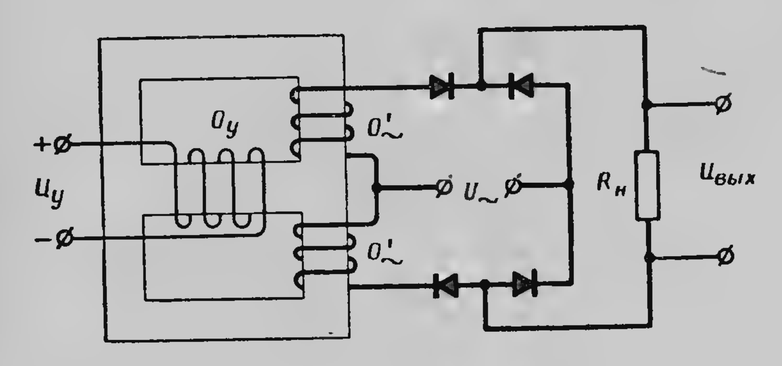


Рис. 2.14. Схема магнитного усилителя с внутренней обратной связью

Схема магнитного усилителя с внутренней обратной связью показана на рис. 2.14. Характерным для этой схемы является то, что ток протекает по каждой обмотке переменного тока $O'_\sim$ в течение одного полупериода напряжения источника тока. В результате через обмотки $O'_\sim$ протекает выпрямленный (пульсирующий) ток, который содержит постоянную составляющую. Постоянная составляющая создает магнитный поток, который, подмагничивая сер-

дечник, действует согласно с магнитным потоком обмотки управления.

Широкое применение магнитных усилителей объясняется тем, что они обладают большой надежностью, длительным сроком работы, высоким к. п. д. и возможностью суммирования нескольких сигналов управления, которые подаются на вход усилителя.

Основным недостатком магнитных усилителей является их недостаточное быстродействие, которое обусловливается индуктивностью рабочих обмоток магнитного усилителя. От момента подачи сигнала на вход магнитного усилителя до момента появления сигнала на его выходе проходит некоторое время, так как ток в обмотках магнитного усилителя нарастает не мгновенно, а постепенно. Кроме того, магнитные усилители обладают относительно большим весом, отнесенным к единице мощности.

§ 2.3. ЭЛЕКТРОМАШИННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

Электромашинный усилитель (ЭМУ) нашел широкое применение в танковых автоматических системах для управления скоростью вращения исполнительных двигателей.

В качестве ЭМУ используются генераторы постоянного тока, работающие в качестве усилителей мощности: мощность, отдаваемая генератором в сеть, значительно больше мощности, необходимой для питания цепи возбуждения (цепи управления). Изменяя небольшой по величине ток в цепи возбуждения, можно регулировать в широких пределах напряжение генератора, а следовательно, и отдаваемую в сеть мощность.

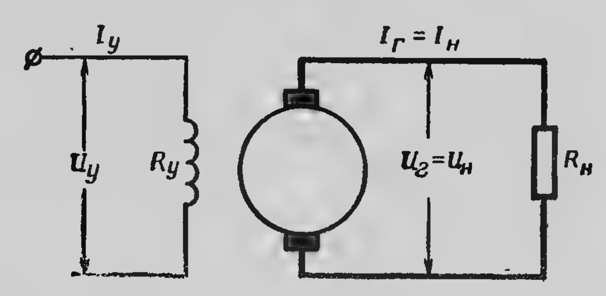


Рис. 2.15. Принципиальная схема простейшего ЭМУ — генератора с независимым возбуждением

Простейшим электромашинным усилителем является обычный генератор постоянного тока с независимым возбуждением (рис. 2.15).

Входным управляющим сигналом является напряжение $U_у$ на обмотке управления (возбуждения) или ток управления (возбуждения) $I_у$, выходным — напряжение на нагрузке $U_н$ или ток нагрузки $I_н$.

Коэффициент усиления по мощности простейшего ЭМУ равен

$$k_р = \frac{P_н}{P_у} = k_U k_I = \frac{I_н^2 R_н}{I_у^2 R_у} = \frac{U_н^2 R_у}{U_у^2 R_н},$$

где $P_н$, $P_у$ — мощность нагрузки, мощность цепи управления;

$R_у$ и $R_н$ — сопротивление цепи управления и сопротивление нагрузки;

$k_U = \frac{U_н}{U_у}$; $k_I = \frac{I_н}{I_у}$ — коэффициенты усиления по напряжению и по току.

Мощность возбуждения составляет 2—5% номинальной мощности генератора, следовательно, коэффициент усиления по мощности $k_р = 20$—50.

Продолжительность переходного процесса нарастания э. д. с. генератора при воздействии на обмотку управления входного сигнала достигает 0,1—1,2 *сек*. Малое значение коэффициента усиления и большая инерционность являются недостатками простейших ЭМУ.

Значительное увеличение коэффициента усиления и увеличение быстродействия достигается применением генераторов постоянного тока специальной конструкции — так называемых ЭМУ с поперечным полем.

ЭМУ с поперечным полем (в дальнейшем сокращенно ЭМУ) представляет собой генератор постоянного тока продольно-поперечного возбуждения, специально сконструированный для работы в качестве усилителя мощности быстродействующих систем автоматического регулирования.

ЭМУ, применяемые в танковом электрооборудовании, выполняются в одном корпусе и на одном валу с приводным двигателем постоянного тока. На рис. 2.16 показана конструкция ЭМУ, на рис. 2.17 — расположение обмоток в пазах статора, а на рис. 2.18 — принципиальная электрическая схема.

Основная особенность ЭМУ состоит в том, что для создания рабочего магнитного потока используется обмотка якоря. В то же время обмотка якоря выполняет и обычную функцию: в ней происходит преобразование механической энергии в электрическую.

Якорь ЭМУ по своему устройству не отличается от якоря обычного двухполюсного генератора постоянного тока. Возможность использования обмоток якоря для выполнения двух функций обусловлена тем, что в машине имеется две пары щеток: щетки *d*—*d*, расположенные на продольной оси, т. е. по оси полюсов, и щетки *q*—*q*, расположенные по поперечной оси. Щетки *q*—*q* замкнуты накоротко и используются для создания рабочего магнитного потока.

Статор ЭМУ отличается от статора обычного генератора постоянного тока тем, что имеет более широкие полюсы и собирается из тонких стальных листов так же, как и якорь. Разрез статора с обмотками показан на рис. 2.17.



Рис. 2.16. Общий вид электромашинного усилителя:
1 — корпус; *2* — статор ЭМУ; *3* — якорь ЭМУ; *4* — якорь приводного двигателя; *5* — полюсы приводного двигателя

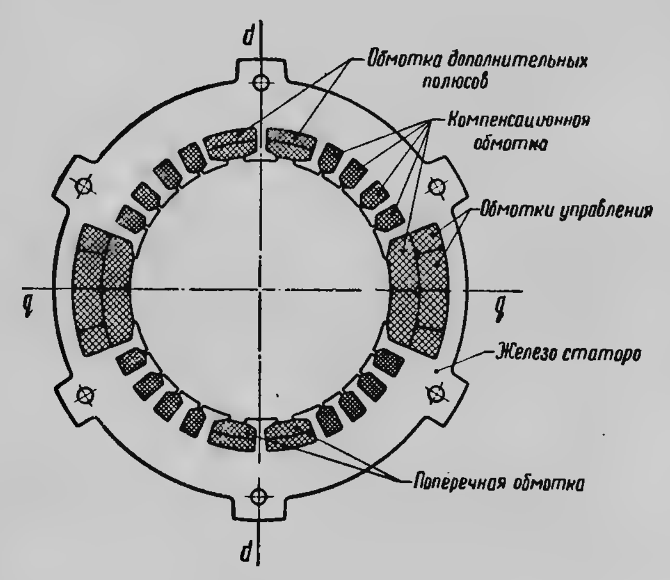


Рис. 2.17. Железо статора ЭМУ

Принцип действия ЭМУ заключается в следующем. Обмотка управления *У* (рис. 2.18), расположенная на полюсах статора, питается от внешнего источника тока. Ток $I_у$ в обмотке управления весьма мал (несколько десятков миллиампер).

Этим током управления $I_у$ создается небольшой магнитный поток управления $\Phi_у$, направленный по продольной оси. При вращении якоря в его обмотке магнитным потоком управления $\Phi_у$ индуктируются э. д. с., направление которых показано крестиками и точками внутри проводов. Э. д. с., индуктируемые в отдельных проводах, суммируются, и между щетками $q—q$ создается небольшая э. д. с. E_q (несколько вольт).

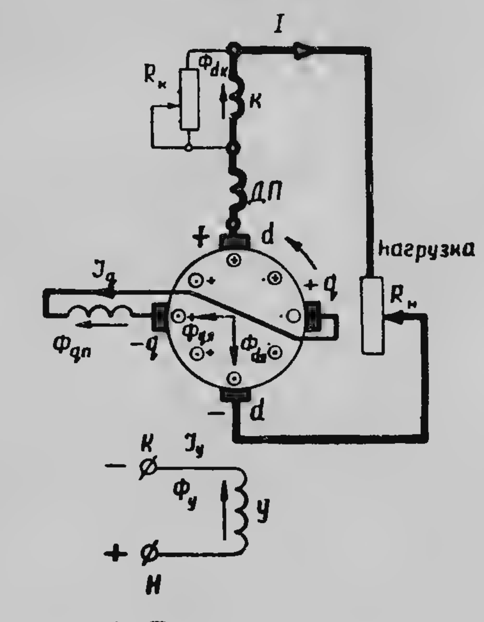


Рис. 2.18. Принципиальная электрическая схема ЭМУ

Поскольку щетки $q—q$ замкнуты накоротко, то э. д. с. E_q создает в их цепи ток I_q. Сопротивление этой цепи мало, поэтому ток I_q достигает значительной величины (несколько десятков ампер), который и создает поперечный магнитный поток большой величины, направленный по поперечной оси машины. Поперечный поток неподвижен в пространстве, хотя и создается током, проходящим по обмотке вращающегося якоря, так как при переходе каждой секции обмотки якоря через нейтральную зону в ней изменяется также и направление тока. Поэтому в любой момент времени во всех проводах, находящихся в верхней половине якоря, ток имеет одно и то же направление (обозначено крестиками внутри проводов), а во всех проводах, находящихся в нижней половине якоря, направление тока противоположное (точки внутри проводов).

Поперечный поток Φ_q является рабочим магнитным потоком ЭМУ, и в проводах обмотки якоря им индуктируются э. д. с., направление которых показано крестиками и точками, проставленными около проводов. Э. д. с. отдельных проводов суммируются, и между щетками $d—d$ создается э. д. с. E_d в несколько десятков вольт.

Таким образом, щетки $d—d$ являются рабочими щетками ЭМУ, к которым подключается нагрузка.

Полярность рабочих щеток определяется направлением тока в обмотке управления и не зависит от направления вращения якоря.

Если к рабочим щеткам подключить нагрузку, то появляется поток якоря $\Phi_{d_я}$, созданный током нагрузки I, направленный по продольной оси машины навстречу потоку обмотки управления $\Phi_у$, вследствие чего напряжение ЭМУ резко уменьшается и отдаваемый им ток I также уменьшается. Для того чтобы скомпенсировать размагничивающее действие потока якоря $\Phi_{d_я}$ и получить пропорциональность между током управления $I_у$ и током нагрузки ЭМУ, в пазах статора укладывается компенсационная обмотка, которая компенсирует поток якоря, созданный током нагрузки.

Компенсационная обмотка K включена последовательно в рабочую цепь и расположена в пазах статора (рис. 2.17).

Поток компенсационной обмотки $\Phi_{d_к}$ (рис. 2.18) направлен противоположно потоку якоря $\Phi_{d_я}$. Магнитный поток Φ_d по продольной оси равен

$$\Phi_d = \Phi_у - \Phi_{d_я} + \Phi_{d_к}.$$

Если $\Phi_{d_я} = \Phi_{d_к}$, то компенсация будет полной и продольный магнитный поток будет создаваться только обмоткой управления; в этом случае ток нагрузки не оказывает влияния на величину э. д. с. E_d, действующей между рабочими щетками $d - d$.

Обычно поток якоря в десятки и сотни раз больше потока обмотки управления. Поэтому незначительная неточность в компенсации потока якоря ведет к значительному изменению продольного магнитного потока Φ_d и э. д. с. E_d ЭМУ при изменении нагрузки. Степень компенсации регулируют опытным путем в каждом ЭМУ, для чего параллельно компенсационной обмотке включается регулируемое сопротивление компенсации $R_к$ (рис. 2.18). При уменьшении сопротивления ток в компенсационной обмотке и ее поток уменьшаются, а увеличение сопротивления приводит к увеличению потока компенсационной обмотки. Регулируя величину $R_к$, подбирают наивыгоднейшую величину компенсации.

Внешняя характеристика ЭМУ, т. е. зависимость его напряжения U от тока I, определяется степенью компенсации (рис. 2.19). Внешняя характеристика при полной компенсации имеет небольшой наклон (кривая 1); уменьшение напряжения с увеличением тока нагрузки объясняется внутренним падением напряжения в обмотках машины.

Влияние тока нагрузки на продольный магнитный поток Φ_d и на э. д. с. E_d часто используется для получения желаемой внешней характеристики.

Если $\Phi_{d_к} > \Phi_{d_я}$, то машина перекомпенсирована. В этом случае суммарный поток по продольной оси больше потока обмотки управления, и с увеличением нагрузки продольный поток Φ_d возрастает. Степень компенсации можно подобрать так, что при увеличении нагрузки напряжение останется неизменным (кривая 2) или даже увеличится (кривая 3). При значительной перекомпенсации возможно нежелательное самовозбуждение ЭМУ, т. е. самопроизвольное увеличение напряжения и тока, в результате чего нарушится управление работой ЭМУ.

Если $\Phi_{d_к} < \Phi_{d_я}$, то машина недокомпенсирована и напряжение с увеличением нагрузки уменьшается (кривая 4). Уменьшение напряжения может быть весьма значительным (кривая 5).

В схемах танкового автоматизированного электропривода для ограничения максимальной нагрузки применяют ЭМУ со значительной недокомпенсацией.

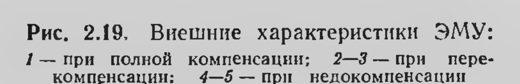


Рис. 2.19. Внешние характеристики ЭМУ:
1 — при полной компенсации; *2—3* — при перекомпенсации; *4—5* — при недокомпенсации

Основным достоинством ЭМУ является высокий коэффициент усиления. Изменением небольшой мощности в цепи управления можно управлять значительной мощностью в цепи нагрузки.

Чтобы ЭМУ отдавал нагрузке мощность P, нужно иметь в цепи щеток $q - q$ приблизительно ту же мощность возбуждения $P_в$, что и в обычном генераторе. Для этого в цепи управления ЭМУ достаточно иметь очень небольшую мощность $P_у$. Таким образом, ЭМУ имеет две ступени усиления.

Первая ступень усиления — от управляющей обмотки к цепи якоря, замкнутой щетками $q - q$. Коэффициент усиления первой ступени

$$k_1 = \frac{P_в}{P_у}.$$

Вторая ступень усиления — от цепи якоря, замкнутой щетками $q - q$, к цепи рабочих щеток $d - d$ и нагрузки. Коэффициент усиления второй ступени

$$k_2 = \frac{P}{P_в}.$$

Общий коэффициент усиления ЭМУ равен

$$k = k_1 k_2 = \frac{P_в}{P_у} \cdot \frac{P}{P_в} = \frac{P}{P_у}.$$

При постоянном нагрузочном сопротивлении $R_н$ мощность ЭМУ приблизительно равна

$$P = E_d I = \frac{E_d^2}{R_н},$$

т. е. приблизительно пропорциональна квадрату э. д. с. E_d, которая в свою очередь пропорциональна квадрату скорости вращения якоря. Следовательно, мощность ЭМУ и его коэффициент усиления будут при заданной величине $P_у$ пропорциональны четвертой степени скорости вращения якоря.

Для получения большого коэффициента усиления скорость вращения ЭМУ, как правило, повышают по сравнению с обычными машинами постоянного тока. Поэтому при изготовлении ЭМУ обращается большое внимание на точность обработки и сборки статора, якоря и коллектора. Коэффициент усиления ЭМУ может достигать весьма больших значений (k=5000—10 000).

Вторым положительным свойством ЭМУ является его малая инерционность, т. е. быстродействие. Быстродействие ЭМУ определяется большой скоростью возбуждения и развозбуждения машины.

Высокий коэффициент усиления и быстродействие — таковы главные положительные свойства ЭМУ.

Серьезным недостатком ЭМУ являются тяжелые условия коммутации вследствие высокой скорости вращения якоря и других конструктивных особенностей. Это вызывает необходимость улучшать специальными мерами коммутацию уже при небольшой мощности машины.

§ 2.4. РЕЛЕЙНЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Релейным элементом, или сокращенно реле, принято называть устройство, осуществляющее скачкообразное изменение выходной величины при определенном значении управляющего сигнала (значении срабатывания).

Практически с помощью реле осуществляется замыкание или размыкание управляемой цепи.

В зависимости от физической природы управляющего сигнала реле разделяются на электрические, механические, тепловые, пневматические, химические, радиационные и т. д.

Электрические реле реагируют на изменение определенной электрической величины (напряжения, тока, мощности), механические — на изменение силы, скорости, перемещения, тепловые — на изменение температуры и т. д.

В автоматических устройствах наибольшее применение получили электрические реле, которые в свою очередь разделяются:

— по принципу действия — на электромагнитные (нейтральные и поляризованные), магнитоэлектрические, электронные, полупроводниковые и т. д.;

— по мощности управляющего сигнала — на маломощные ($P_{вх} \leqslant 1$ *вт*), средней мощности ($P_{вх}$=1—10 *вт*) и мощные реле ($P_{вх} > 10$ *вт*);

— по времени срабатывания — на безынерционные ($t_{ср} < 0{,}001$ *сек*), быстродействующие ($t_{ср}$=0,005—0,05 *сек*), нормальные ($t_{ср}$=0,05—0,15 *сек*) и реле времени ($t_{ср} \geqslant 1$ *сек*).

В танковых автоматических устройствах наибольшее распространение получили электромагнитные нейтральные и поляризованные реле.

Электромагнитным реле называется электрический аппарат, в котором изменение входной электрической величины вызывает перемещение якоря, в результате чего происходит замыкание или размыкание электрической цепи. Электромагнитные реле могут быть нейтральными (постоянного или переменного тока) или поляризованными (только постоянного тока).

Нейтральные электромагнитные реле реагируют только на величину сигнала управления, а поляризованное — и на величину, и на знак (полярность) входного сигнала.

Нейтральное электромагнитное реле (рис. 2.20) состоит из трех основных частей: электромагнита (обмотка *1* электромагнита, одна или несколько, сердечник *2*, магнитопровод *3*, якоря *4* с пружиной *5* и контактов *6*, *7*.

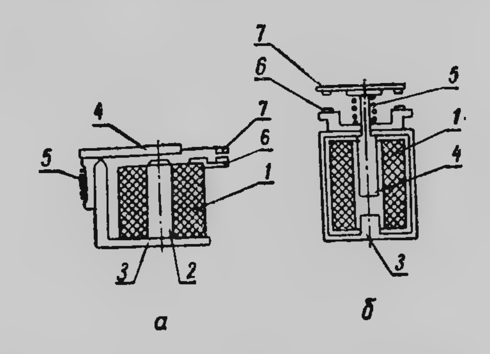


Рис. 2.20. Электромагнитные нейтральные реле:

а — клапанное; *б* — втяжное; *1* — обмотка электромагнита; *2* — сердечник; *3* — магнитопровод; *4* — якорь; *5* — пружина; *6* — неподвижный контакт; *7* — подвижный контакт

Электромагнит является чувствительным элементом, который воспринимает изменение величины входного сигнала (тока или напряжения).

Якорь *4* с пружиной *5* является тем промежуточным органом, с помощью которого сравнивается воздействие сигнала управления с его заданным значением.

Контакты *б* и *7* реле выполняют функцию исполнительного органа, с их помощью может производиться замыкание и размыкание цепи, а также переключения. Контакты, которые при отсутствии тока в катушке реле находятся в разомкнутом состоянии, называются замыкающими **(нормально разомкнутыми)** (рис. 2.21, *б*), а контакты, которые находятся в замкнутом состоянии,— размыкающими **(нормально замкнутыми)** (рис. 2.21, *в*).

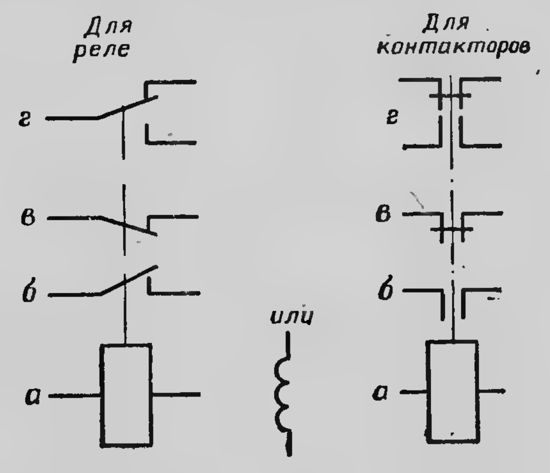


Рис. 2.21. Условные обозначения элементов электромагнитных реле в электрических схемах:
а — обмотки нейтральных реле; *б* — замыкающие контакты; *в* — размыкающие контакты; *г* — переключающие контакты

Рабочий процесс электромагнитного нейтрального реле протекает следующим образом.

При подключении обмотки реле к источнику постоянного тока ток в ней вследствие значительной индуктивности будет нарастать постепенно, достигая заданного значения.

На рис. 2.22 изображен график рабочего процесса реле, на котором показано изменение тока в катушке реле.

Весь цикл работы реле можно разбить на следующие четыре этапа.

I. Этап срабатывания (включения) реле протекает с момента подачи напряжения на обмотку реле и до момента замыкания контактов. При включении напряжения ток в обмотке реле нарастает, но якорь неподвижен до тех пор, пока сила магнитного притяжения якоря не станет равной противодействующей силе пружины $F_м = F_{пр}$. Величина тока, необходимая для того чтобы якорь реле начал двигаться (точка *A*), называется током трогания $I_{тр}$, а промежуток времени, в течение которого ток в обмотке увеличится до значения $I_{тр}$, называется временем трогания $t_{тр}$. После начала движения якоря и до момента замыкания контактов проходит некоторое время, называемое временем движения $t_{дв}$.

В течение этого времени ток в обмотке нарастает до величины тока срабатывания $I_{ср}$. Время срабатывания характеризует чувствительность реле, т. е. его быстродействие.

Уменьшить ток трогания и ток срабатывания можно путем уменьшения натяжения пружины $F_{пр}$ или уменьшением воздушного зазора между якорем и сердечником.

II. Этап рабочий длится от момента включения контактов реле до момента отключения обмотки реле от источника тока. В течение этого периода ток в обмотке реле достигает заданного значения.

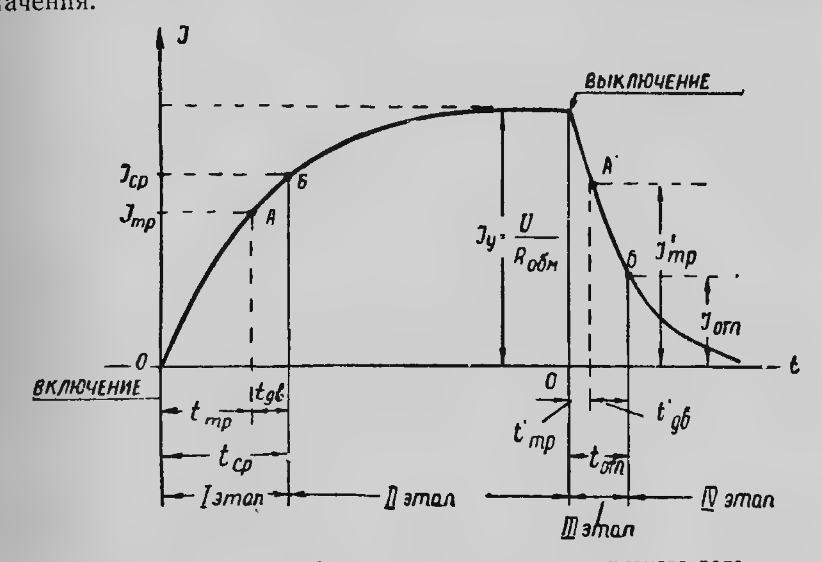


Рис. 2.22. График рабочего процесса электромагнитного реле

Для того чтобы контакты реле были надежно замкнуты (якорек был притянут к сердечнику), необходимо, чтобы установившееся (рабочее) значение тока было больше тока срабатывания. Отношение рабочего тока к току срабатывания называется коэффициентом запаса:

$$k_з = \frac{I_у}{I_{ср}}.$$

Для танковых реле величина коэффициента запаса равна $k_з = 2—6$.

III. Этап отпускания длится от момента прекращения действия управляющего сигнала (отключение катушки реле от источника) до размыкания контактов. При выключении обмотки реле ток в ней спадает постепенно и якорь начинает двигаться только после того, как ток в обмотке уменьшится до значения тока трогания при отпускании $I'_{тр}$. Контакты размыкаются после начала трогания якоря через некоторое время $t'_{дв}$ — время дви-

жения. За это время значение тока уменьшится до величины тока отпускания $I_{отп}$.

Обычно реле выключается при токе, меньшем тока срабатывания ($I_{отп}<I_{ср}$), так как величина воздушного зазора при отпускании меньше, чем при срабатывании.

IV. Этап покоя длится от момента размыкания контактов до начала следующего включения. В течение этого этапа контакты реле находятся в исходном положении, а обмотка обесточена.

Контакты реле выполняются из материалов, которые, обладая хорошей электропроводностью, противостоят механическому износу, химическому износу (коррозии) и эрозии (переносу частиц металла с одного контакта на другой электрической искрой или дугой). Такими материалами являются серебро, медь, вольфрам и металлокерамика. Серебряные контакты применяются в маломощных реле, работающих с небольшой частотой. Вольфрамовые контакты, обладающие высокой механической прочностью, применяются для реле, которые работают с большой частотой. Медные контакты применяются для мощных реле.

Возникающая между контактами при их размыкании дуга оказывает на них сильное разрушающее действие, что вызывает сокращение срока службы контактов. Появление между контактами искры или возникновение дуги в момент их размыкания объясняется повышением напряжения между контактами выше определенного значения, которое происходит в тех случаях, когда нагрузка в цепи контактов содержит индуктивность. При размыкании цепи с индуктивностью э. д. с. самоиндукции может превышать номинальное напряжение в десятки и даже сотни раз. Поэтому для защиты контактов реле от разрушения применяются специальные схемы искрогашения, которые позволяют понизить напряжение между контактами в момент их размыкания.

Для увеличения быстродействия реле применяются специальные схемы ускорения срабатывания электромагнита реле. Наибольшее распространение в танковом электрооборудовании получили реле с форсирующими обмотками (рис. 2.23).

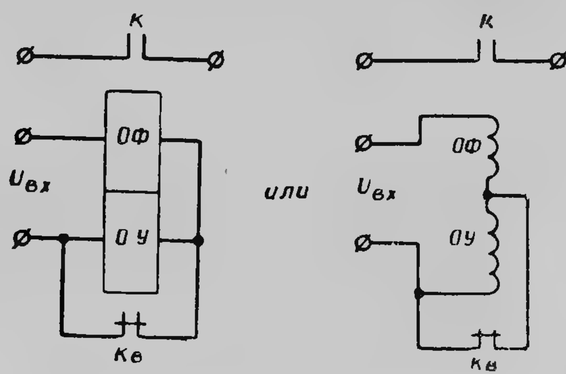


Рис. 2.23. Схема быстродействующего реле с форсировкой

Быстродействующее реле имеет две обмотки: форсирующую *ОФ* и удерживающую *ОУ*. Кроме рабочих контактов *К*, в реле имеются вспомогательные контакты $К_в$, которые шунтируют удерживающую обмотку (при обесточенном состоянии реле).

Срабатывает реле под действием только одной форсирующей обмотки *ОФ*, обладающей незначительным индуктивным сопротивлением. Поэтому нарастает ток в этой обмотке очень быстро после того, как к ней будет приложено напряжение сигнала управления $U_{вх}$. Быстрый рост тока в обмотке *ОФ* обеспечивает быстрое срабатывание реле.

После замыкания контактов *К*, включенных в рабочую цепь, якорь реле продолжает двигаться, так как в конструкции реле предусмотрена возможность такого дополнительного хода. В конце хода якорь реле размыкает вспомогательные контакты $К_в$, вследствие чего обе обмотки *ОФ* и *ОУ* включаются последовательно. Но так как сопротивление удерживающей обмотки относительно велико, ток в цепи обмоток уменьшается до величины, которая допустима для длительного включения реле без перегрева его обмоток.

Электромагнитные поляризованные реле. Реле этого типа реагируют не только на величину, но и на знак сигнала управления.

Конструктивное отличие электромагнитного поляризованного реле от нейтрального реле состоит в том, что в поляризованном реле кроме электромагнита имеется постоянный магнит, который поляризует магнитную систему реле и делает его чувствительным к полярности сигнала управления.

Принципиальная схема магнитной системы поляризованного реле показана на рис. 2.24.

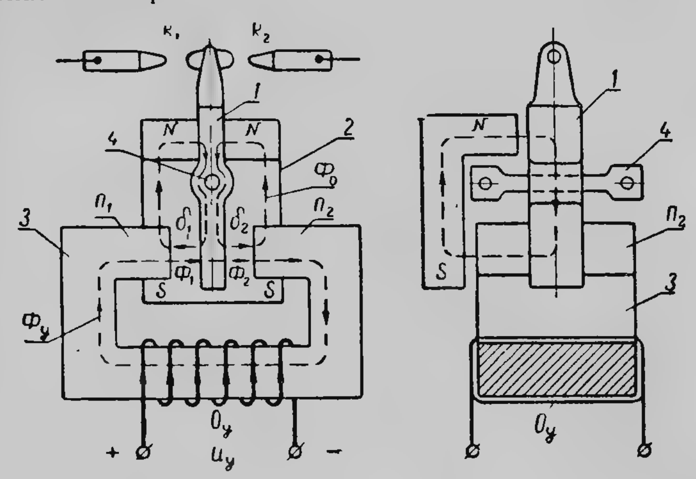


Рис. 2.24. Принципиальная схема магнитной системы поляризованного реле:

1 — якорек; *2* — постоянный магнит; *3* — сердечник электромагнита; *4* — торсион; $К_1$ и $К_2$ — неподвижные контакты реле; $П_1$ и $П_2$ — полюсные наконечники электромагнита

Якорек *1* закреплен на торсионе *4*, который удерживает якорек в определенном положении (например, среднем). Магнитный поток постоянного магнита *2* проходит от его северного полюса через якорек *1*, воздушные зазоры δ_1 и δ_2 и полюсные наконечники $П_1$ и $П_2$ электромагнита к южному полюсу S.

Если сигнал управления отсутствует и обмотка электромагнита обесточена, якорек *1* удерживается торсионом в среднем положении, вследствие чего воздушные зазоры δ_1 и δ_2 будут одинаковы ($\delta_1=\delta_2$), магнитные потоки Φ_1 и Φ_2, которые проходят через полюсные наконечники $П_1$ и $П_2$, будут равны. При этом сила притяжения якорька к полюсному наконечнику $П_1$ будет равна силе притяжения к полюсному наконечнику $П_2$ и якорек останется в среднем положении.

При воздействии на обмотку $О_у$ управляющего напряжения в ней появится ток, направление которого зависит от полярности напряжения $U_у$. Ток обмотки управления $О_у$ создает магнитный поток $\Phi_у$, который проходит через сердечник электромагнита, полюсные наконечники $П_1$, $П_2$ и воздушные зазоры δ_1 и δ_2. В данном случае в полюсном наконечнике $П_2$ магнитный поток $\Phi_у$ будет складываться с магнитным потоком постоянного магнита Φ_0, а в полюсном наконечнике $П_2$ — вычитаться из него. Вследствие этого магнитный поток Φ_2 будет больше магнитного потока Φ_1:

$$\Phi_2=(\Phi_0+\Phi_у)>(\Phi_0-\Phi_у)=\Phi_1 .$$

Таким образом, на якорек будут действовать две силы: сила притяжения полюсного наконечника $П_1$ и сила притяжения полюсного наконечника $П_2$. В нашем примере сила притяжения полюсного наконечника $П_2$ больше, поэтому якорек *1*, преодолевая упругое сопротивление торсиона *4*, повернется и притянется к этому наконечнику ($П_2$). При этом подвижный контакт якорька соединится с неподвижным контактом $К_1$ реле.

Изменение полярности напряжения $U_у$ сигнала управления вызывает изменение направления тока в обмотке $О_у$ реле, а следовательно, и изменение направления магнитного потока $\Phi_у$ электромагнита. При этом преобладающим будет магнитный поток Φ_1, который проходит через полюсный наконечник $П_1$. Теперь якорек, притягиваясь к наконечнику $П_1$, повернется в противоположную сторону и замкнет контактную пару $К_2$.

При выключении реле ($U_у=0$) торсион *4* возвращает якорек *1* в исходное положение (в нашем примере — среднее).

Если якорек удерживается торсионом в нейтральном (среднем) положении, то такое реле называется трехпозиционным. Если же якорек удерживается торсионом в одном из крайних положений, то такое реле называется двухпозиционным.

По сравнению с нейтральным реле поляризованные реле обладают высокой чувствительностью и значительным быстродействием. Для срабатывания поляризованного реле необходима очень небольшая мощность, около 10^{-4} *вт*, время срабатывания не превышает 10^{-3} *сек*, напряжение срабатывания не менее 1 *в*.

Важнейшим преимуществом поляризованных реле является возможность суммирования нескольких сигналов управления. Для этого на сердечнике электромагнита нужно разместить несколько обмоток управления. Суммарный магнитный поток и притягивающая сила сердечника электромагнита будут зависеть от величины алгебраической суммы намагничивающих сил всех обмоток.

Недостатком поляризованных реле является сравнительно небольшая выходная мощность.

Общий вид и детали поляризованного реле типа РП показаны на рис. 2.25.

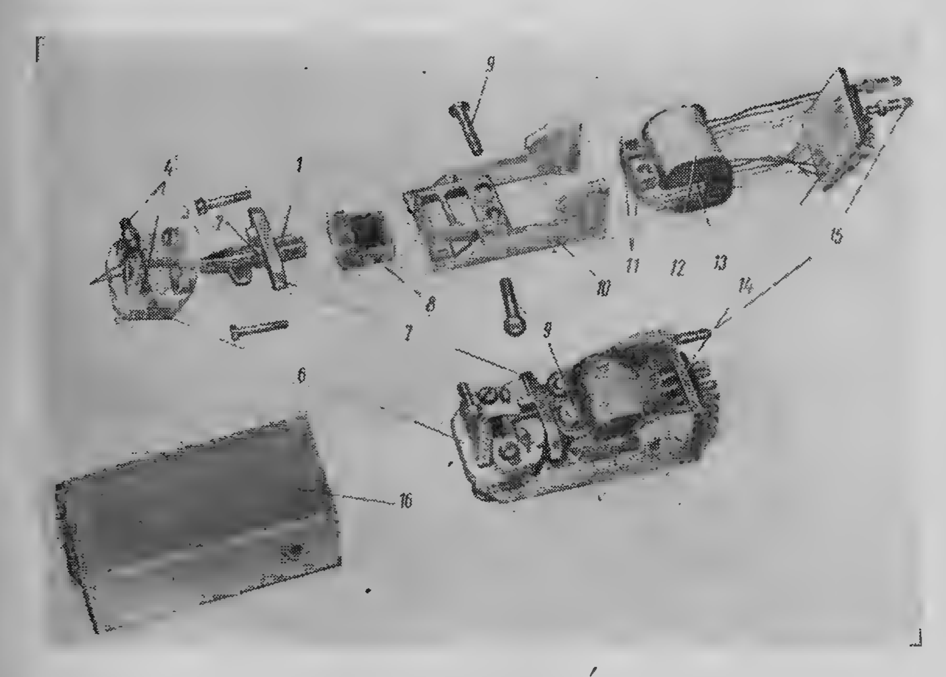
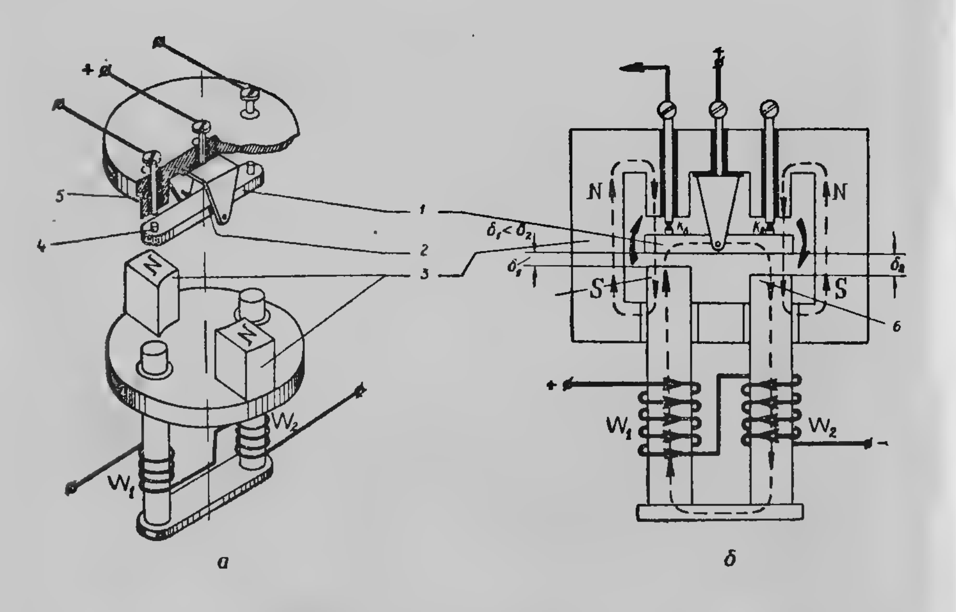


Рис. 2.25. Поляризованное реле типа РП-5:

1 — якорек; *2* — торсион; *3* — контактная пружина; *4* — регулировочные винты; *5* — стойки; *6* — керамическое основание; *7* — рамка; *8* — постоянный магнит; *9* — винты; *10* — корпус; *11* — полюсные наконечники; *12* — катушка; *13* — сердечник; *14* — штепсельная колодка; *15* — штыри; *16* — кожух

Реле типа РПС-7 (рис. 2.26) двухпозиционное, поляризовано двумя постоянными магнитами *3*. Воздушный зазор δ_1 между левым полюсным наконечником и якорем реле меньше, чем воздушный зазор δ_2 между правым полюсным наконечником и якорем. Следовательно, магнитный поток между левым полюсным наконечником и якорем больше, чем магнитный поток между правым полюсным наконечником и якорем. Поэтому при обесточенных обмотках реле контакты $К_п$ замкнуты, а контакты $К_л$ разомкнуты. При прохождении тока по обмотке реле магнитный поток катушек суммируется с магнитными потоками постоянных маг-



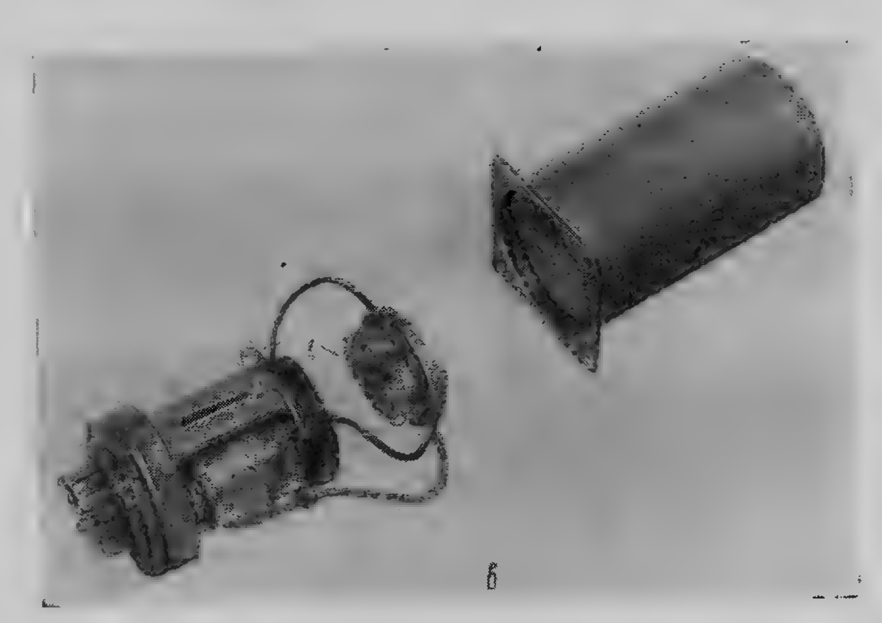


Рис. 2.26. Поляризованное реле типа РПС-7:

а — конструктивная схема; *б* — схема магнитной цепи; *в* — общий вид со снятой крышкой; *1* — якорек; *2* — торсион; *3* — постоянные магниты; *4* — подвижный контакт; *5* — неподвижный контакт; *6* — полюсные наконечники

нитов так, что якорек поворачивается по ходу часовой стрелки (рис. 2.26, *б*). При этом контакты $К_п$ размыкаются, контакты $К_л$ замыкаются, а торсион *2* закручивается. Когда обмотка реле будет обесточена, упругая сила торсиона повернет якорь реле против хода часовой стрелки и контакты $К_л$ разомкнутся, а так как реле с преобладанием, то якорь реле дополнительно повернется против хода часовой стрелки и контакты $К_п$ замкнутся.

Реле как усилитель. Реле является усилителем, так как позволяет управлять работой электрической цепи, мощность которой значительно превышает мощность управления реле.

В качестве релейного усилителя могут применяться как нейтральные реле, так и поляризованные.

Релейный усилитель обладает высоким коэффициентом усиления по мощности, величина которого равна 50—100 для электромагнитного реле и достигает 10 000 для поляризованных реле.

Коэффициент усиления по мощности

$$k_р = \frac{P_{вых}}{P_у} = \frac{U_н I_н}{U_у I_у} = \frac{U_н^2 R_у}{U_у^2 R_н},$$

где $P_{вых}$ — мощность в цепи нагрузки, включаемой контактами реле;

$P_у$ — мощность обмотки реле (мощность управления).

Усилитель, выполненный на нейтральном реле, является однотактным (рис. 2.27). При повышении входного напряжения до величины $U_{ср}$ происходит включение реле, причем направление тока в обмотке реле не играет никакой роли, в обоих случаях напряжение в цепи нагрузки будет иметь одинаковую полярность. Снижение напряжения до значения $U_{от}$ вызывает отпускание (выключение) реле.

В случае необходимости изменения полярности напряжения на нагрузке применяются двухтактные релейные усилители.

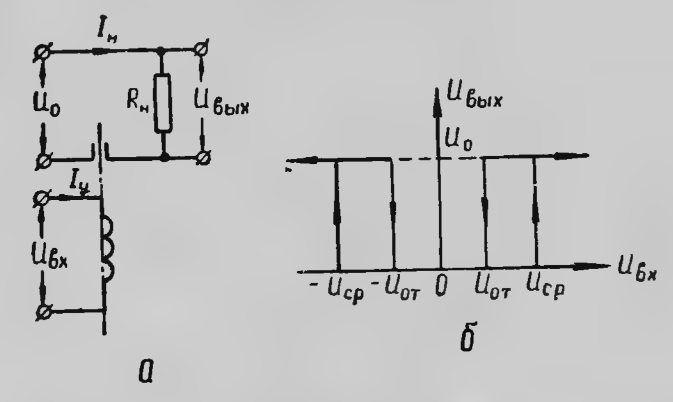


Рис. 2.27. Релейный усилитель, выполненный на нейтральном реле:

а — схема; *б* — статическая характеристика

Схема и характеристика двухтактного релейного усилителя, выполненного на трехпозиционном поляризованном реле, показана на рис. 2.28.

При повышении управляющего напряжения определенной полярности до величины $U_{ср}$ реле срабатывает, замыкается одна пара контактов (например, *1*) и на выходе реле (между зажимами *3* и *4*) появится напряжение $U_{вых}$ определенной полярности.

При изменении полярности управляющего напряжения и увеличении его до значения $U_{ср}$ реле сработает и замкнет вторую пару контактов. При этом напряжение $U_{вых}$, снимаемое на выходе реле с зажимов *3* и *4*, изменит свою полярность на обратную.

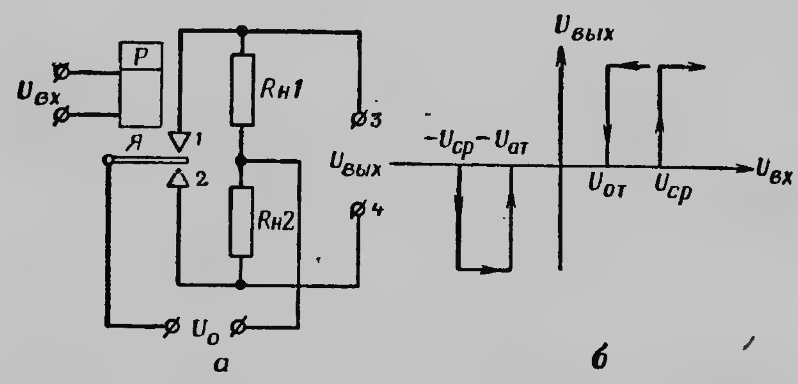


Рис. 2.28. Релейный усилитель, выполненный на поляризованном реле:
а — схема; *б* — статическая характеристика

Характеристика релейного усилителя получается нелинейной, она имеет разрывы. Релейный усилитель не обеспечивает пропорциональной (линейной) зависимости между управляющим напряжением $U_у$ и напряжением на выходе $U_{вых}$. Пропорциональная зависимость между управляющим напряжением и напряжением на выходе может быть получена применением так называемой вибрационной линеаризации релейного усилителя.

Вибрационная линеаризация релейных усилителей состоит в том, что искусственно создается колебательный режим работы реле. При работе реле в таком режиме обеспечивается пропорциональное изменение выходного напряжения $U_{вых}$ при изменении управляющего напряжения; среднее значение выходного напряжения $U_{вых. ср}$ будет пропорционально величине управляющего напряжения:

$$U_{вых. ср} = kU_{вх}.$$

Для создания колебательного режима работы релейного усилителя необходимо применить поляризованное реле с двумя обмотками. Одна обмотка $О_у$ используется в качестве управляющей, а другая $О_л$ — в качестве линеаризирующей (рис. 2.29).

Линеаризирующая обмотка $О_л$ присоединяется к выходу релейного усилителя так, чтобы при замыкании одного из контактов реле намагничивающая сила, создаваемая этой обмоткой, была направлена навстречу намагничивающей силе, которая создается обмоткой управления $О_у$.

При отсутствии управляющего напряжения $U_{вх}$ на обмотке $О_у$ якорек реле занимает нейтральное положение и напряжение на выходе усилителя равно нулю.

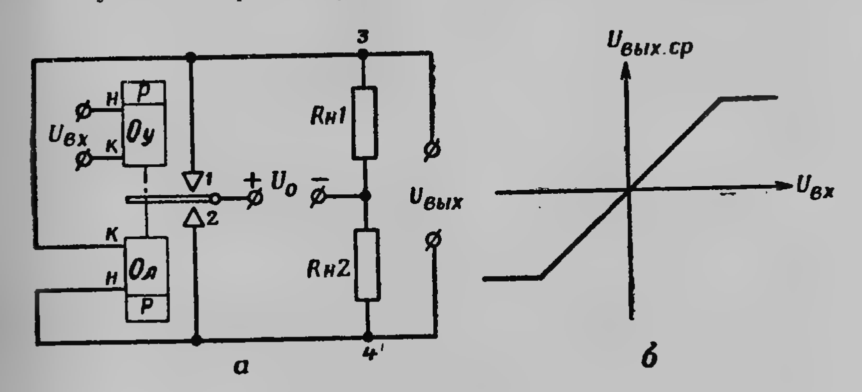


Рис. 2.29. Релейный усилитель, линеаризованный с помощью автоколебаний:
а — схема; *б* — статическая характеристика

При повышении управляющего напряжения $U_{вх}$ до величины напряжения срабатывания $U_{ср}$ якорек реле замыкает один из контактов и на выходе реле между зажимами *3* и *4* появляется напряжение $U_{вых}$. Допустим, что в это время ток в обмотке управления $О_у$ проходит от зажима *Н* (начало) к зажиму *К* (конец), а якорек замыкает контакт *1*.

Появление напряжения $U_{вых}$ между зажимами *3* и *4* вызывает постепенное нарастание тока в линеаризирующей обмотке $О_л$. Ток проходит от положительного зажима источника тока к зажиму *3*, на сопротивление нагрузки Rн1 и параллельно через обмотку $О_л$ (от *К* к *Н*) к зажиму *4*, сопротивлению нагрузки Rн2, к отрицательному зажиму источника тока.

Постепенное нарастание тока в линеаризирующей обмотке объясняется тем, что обмотка $О_л$ обладает индуктивностью. Поэтому и намагничивающая сила $I_л w_л$ этой обмотки будет также нарастать постепенно.

Поскольку намагничивающая сила $I_л w_л$, создаваемая линеаризирующей обмоткой $О_л$, направлена встречно намагничивающей силе $I_у w_у$ обмотки управления $О_у$, результирующая намагничивающая сила $F_{рез} = I_у w_у - I_л w_л$ будет уменьшаться и в какой-то момент времени окажется недостаточной для удержания якорька во включенном положении. Под действием торсиона якорек будет возвращен в нейтральное положение. При этом обмотка $О_л$ от-

ключается от источника тока и ее намагничивающая сила уменьшается. Благодаря этому результирующая намагничивающая сила $F_{рез}$ снова возрастает, так как обмотка $O_у$ остается все время под воздействием управляющего напряжения $U_у$. Это вызывает повторное замыкание тех же контактов реле, выходное напряжение $U_{вых}$ снова возрастает до максимального значения, ток в обмотке $O_л$ вновь начинает постепенно возрастать до момента нового размыкания контактов реле. После чего процесс повторяется.

Колебания якорька происходят между его нейтральным положением и одним и тем же неподвижным контактом.

При увеличении управляющего напряжения $U_у$ намагничивающая сила $I_у w_у$, создаваемая током обмотки управления, увеличивается, что вызывает увеличение замкнутого состояния контактов реле. Это объясняется тем, что при постепенном нарастании тока в линеаризирующей обмотке потребуется больше времени для того, чтобы ток в этой обмотке и созданная им намагничивающая сила $I_л w_л$ возросли до такого значения, при котором результирующая намагничивающая сила $F_{рез}$ уменьшится до величины, при которой происходит отпускание реле.

Увеличение времени замкнутого состояния контактов реле вызывает увеличение среднего значения выходного напряжения (рис. 2.29, *б*).

При изменении полярности выходного сигнала якорек будет вибрировать между нейтральным положением и другим неподвижным контактом, вследствие чего полярность выходного напряжения изменится на обратную.

Пропорциональное изменение выходного напряжения в линеаризованном релейном усилителе обеспечивается только при сравнительно медленном изменении управляющего напряжения, так как при чрезмерно большой частоте управляющего напряжения якорек реле не будет успевать перебрасываться из одного положения в другое.

Двухтактные релейные усилители, линеаризированные с помощью автоколебаний, широко применяются в танковых автоматизированных электроприводах и следящих системах.

Глава 3

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПРИВОДЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Исполнительные приводы танковых автоматических систем предназначены для создания вращающего момента, приложенного к объекту регулирования с целью его стабилизации или наведения с заданной скоростью.

К исполнительным приводам танковых автоматических систем предъявляется ряд особых требований в отношении диапазона регулирования и характера изменения скорости наведения в зависимости от угла поворота пульта, плавности регулирования, времени разгона и торможения.

Одной из характерных особенностей исполнительных приводов танковых автоматических систем является то, что большую часть времени они работают в переходных режимах: вращающий момент и скорость вращения непрерывно изменяются как по величине, так и по знаку. Поэтому особое внимание уделяется качеству переходного процесса, а именно: времени регулирования, быстродействию и т. д.

Существующие исполнительные приводы весьма разнообразны по принципу действия, по конструкции и по мощности. Наибольшее развитие получили приводы наведения танкового вооружения.

Рассмотрим свойства основных исполнительных приводов, применяемых в автоматических системах бронетанковой техники.

§ 3.1. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПРИВОДЫ НАВЕДЕНИЯ ВООРУЖЕНИЯ

Для наведения и стабилизации вооружения применяются приводы двух типов: электрогидравлические и электромашинные.

В электрогидравлическом приводе исполнительным органом является гидропривод, насос которого приводится во вращение электрическим двигателем. Управление приводом осуществляется с помощью электромагнитов или малогабаритных электродвигателей.

В электромашинном приводе в качестве исполнительного органа используется электродвигатель постоянного тока с управлением его скоростью вращения по схеме генератор — двигатель (Г — Д).

Электрогидравлические приводы отличаются малой инерционностью, высокой точностью регулирования, позволяют обеспечить широкий диапазон регулирования с устойчивыми малыми скоростями. Это объясняется, с одной стороны, высокими удельными давлениями в гидравлическом исполнительном двигателе, которые могут достигать 300—500 *кг/см²*, и, с другой стороны, сравнительно малым собственным моментом инерции гидродвигателя.

Важными преимуществами электрогидравлических приводов являются их сравнительно малые габариты и вес, а также большая перегрузочная способность. Циркуляция рабочей жидкости обеспечивает лучшие условия охлаждения системы.

Наконец, такие достоинства, как способность создавать большие усилия непосредственно на выходе исполнительного двигателя возвратно-поступательного движения и простота его конструкции, позволяют исключить из системы гидропривода промежуточные редукторы и преобразующие механизмы. При этом габариты и общий вес привода наведения еще более уменьшаются, а его к. п. д. возрастает.

Отмеченные свойства электрогидравлического исполнительного привода дают возможность применять его как для стабилизаторов башен, так и для стабилизаторов орудий. В существующих схемах танковых стабилизаторов гидропривод чаще применяется для стабилизаторов орудий, так как ограниченный угол поворота орудия позволяет использовать наиболее простую схему гидропривода с возвратно-поступательным движением.

Особенностями гидроприводов являются:

— повышенная чувствительность привода к изменениям температуры окружающего воздуха, обусловленная изменением вязкости рабочей жидкости в системе;

— меньшая надежность в эксплуатации вследствие отказов в работе из-за утечки жидкости и попадания воздуха в систему;

— технологическая сложность производства и необходимость высокой точности изготовления;

— необходимость совместного размещения всех агрегатов привода во избежание чрезмерного увеличения потерь в соединительных гидроприводах.

Электромашинные приводы, несколько уступая по быстродействию, точности регулирования, габаритам и весу гидравлическим приводам, имеют по сравнению с ними значительные преимущества в части надежности в работе, удобства и простоты монтажа и демонтажа. Они относительно менее сложны в производстве и просты в эксплуатации. Электрические приводы более просто автоматизировать.

Эти положительные качества электромашинных приводов обусловили их широкое применение на объектах бронетанковой техники в качестве приводов горизонтального наведения и стабилизации (электроприводы башен).

§ 3.2. ЭЛЕКТРОМАШИННЫЕ ПРИВОДЫ

Электромашинный привод (сокращенно электропривод) состоит из **исполнительного двигателя,** обеспечивающего вращение объекта (башни или орудия) с определенной скоростью, и **регулятора,** с помощью которого наводчик осуществляет регулирование скорости вращения исполнительного двигателя при наведении орудия на цель.

В качестве исполнительных двигателей в электроприводах наибольшее применение получили электрические двигатели постоянного тока.

Электродвигатель в системе электропривода может работать в следующих режимах:

— двигательном, при котором он, потребляя электроэнергию, производит механическую работу; этот режим является основным;

— генераторном, при котором электродвигатель отдает электрическую энергию за счет приложенного внешнего момента; этот режим используется для торможения двигателя;

— противовключения, при котором изменяется полярность напряжения, приложенного к якорю электродвигателя, вращающемуся в прежнем направлении; этот режим используется для эффективного торможения двигателя.

Одной из основных характеристик электрического двигателя является зависимость скорости вращения от момента на валу двигателя $n=f(M)$ — так называемая механическая характеристика.

Как известно из курса электротехники, для электрических двигателей с параллельным или независимым возбуждением вращающий момент электродвигателя

$$M = C_m I \Phi = C'_m I$$

пропорционален току, так как коэффициент $C'_m = C_m \Phi$.

Скорость вращения с увеличением тока будет линейно уменьшаться.

$$n = \frac{U - I(R_я + R_р)}{C_е \Phi} = \frac{U - I(R_я + R_р)}{C'_е},$$

где $C'_е = C_е \Phi$.

В уравнении обозначено:

U — напряжение, приложенное к якорю двигателя;

$R_я$ и $R_р$ — сопротивления обмотки якоря и реостата, включенного в цепь якоря;

C_m и $C_е$ — постоянные коэффициенты.

Подставляя значение тока в уравнение для скорости вращения, получим уравнение механической характеристики в виде

$$n = \frac{U}{C_е \Phi} - M \frac{R_я + R_р}{C_е C_m \Phi^2} = \frac{U}{C'_е} - M \frac{R_я + R_р}{C'_е C'_m}.$$

Как видно из этого уравнения, скорость вращения n с увеличением момента сопротивления M на валу двигателя уменьшается.

Для танковых автоматических систем необходимо возможно меньшее изменение скорости вращения, т. е. более жесткая характеристика, особенно в области малых скоростей, используемых при точной наводке на цель. Механические характеристики электродвигателя независимого или параллельного возбуждения, работающего в двигательном режиме, показаны на рис. 3.1 (правый

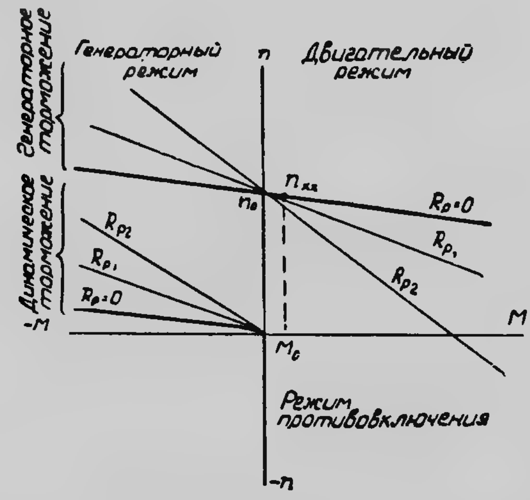


Рис. 3.1. Механические характеристики электродвигателя параллельного (независимого) возбуждения

верхний квадрант). При изменении величины сопротивления $R_р$, включенного в цепь якоря (рис. 3.2), меняется наклон характеристик. При этом получается семейство прямых, проходящих через точку $n_0=\frac{U}{C_е'}$, называемую скоростью идеального холостого хода. Практически при работе вхолостую двигатель потребляет некоторый ток холостого хода I_0 и развивает момент M_0, величина которого определяется механическими и магнитными потерями электродвигателя. Поэтому скорость реального холостого хода $n_{х.х}$ будет несколько ниже чем n_0.

В **двигательном** режиме (рис. 3.2, *а*) $n<n_0$ и обратная э. д. с. электродвигателя $E_{обр}<U$. Электродвигатель, потребляя электрическую энергию из сети, производит механическую работу — вращает объект регулирования.

Если посторонней силой вращать якорь электродвигателя со скоростью большей, чем n_0, то его э. д. с. E увеличивается и станет выше, чем напряжение сети U, вследствие чего ток изменит направление на обратное и электродвигатель станет отдавать электроэнергию в сеть, т. е. перейдет в генераторный режим (рис. 3.2, *б*). В результате изменения направления тока в якоре момент M электродвигателя также изменит знак, т. е. из вращаю-

щего станет тормозным. Характеристики электродвигателя, работающего в генераторном режиме с отдачей электроэнергии в сеть, изображены в левом верхнем квадранте рис. 3.1 и представляют собой продолжение характеристик двигательного режима.

Механическую характеристику генераторного режима можно представить уравнением

$$n=\frac{U}{C_е'}-(-M)\frac{R_я+R_р}{C_е'C_m'}=\frac{U}{C_е'}+M_т\frac{R_я+R_р}{C_е'C_m'},$$

где $M_т=-M$ является тормозным моментом.

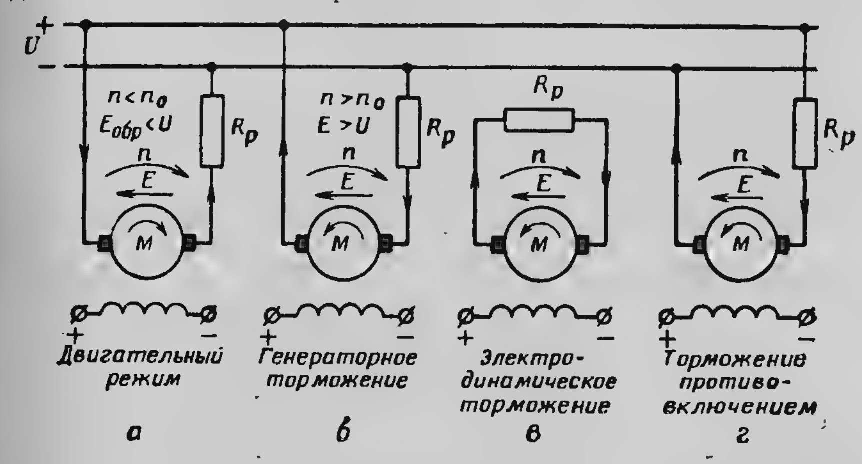


Рис. 3.2. Схемы включения двигателя при различных режимах работы и способах торможения

Для того чтобы обеспечить торможение электродвигателя, работающего в генераторном режиме и при скорости вращения ниже n_0, необходимо отключить его от сети и замкнуть на сопротивление $R_р$ (рис. 3.2, *в*). В этом случае напряжение сети $U=0$, а поэтому уравнение механической характеристики примет вид

$$n=-(-M)\frac{R_я+R_р}{C_е'C_m'}=M_т\frac{R_я+R_р}{C_е'C_m'}.$$

Электродвигатель работает в генераторном режиме и развивает тормозной момент $M_т=-M$. В этом случае механические характеристики представятся семейством прямых, проходящих через начало координат.

Подобный способ торможения называется **электродинамическим торможением** и возможен при любой скорости вращения, а поэтому применяется чаще других. При этом способе торможения кинетическая энергия электродвигателя и приводного механизма превращается в электрическую энергию и выделяется в сопротивлении $R_р$ в виде тепла. При снижении скорости вращения n тормозной момент уменьшается, а при скорости вращения $n=0$ также становится равным нулю.

В танковом электромашинном приводе используется режим **противовключения** для торможения электродвигателя, вращающегося в прежнем направлении. Для этой цели нужно изменить полярность на зажимах якоря электродвигателя (рис. 3.2, *г*). Из сравнения рис. 3.2, *г* и 3.2, *а* видно, что ток I, проходящий через якорь электродвигателя при противовключении, а следовательно, и развиваемый им момент меняют знак, а поэтому момент электродвигателя будет тормозным.

Регулирование скорости вращения электродвигателей. Исходя из уравнения скорости вращения электродвигателя

$$n = \frac{U - I(R_я + R_р)}{C_e \Phi},$$

можно заключить, что скорость вращения электродвигателя можно регулировать тремя способами:

— изменением сопротивления реостата $R_р$, включенного в цепь якоря (реостатное регулирование);

— изменением магнитного потока возбуждения Φ (регулирование путем ослабления возбуждения);

— изменением приложенного напряжения U (регулирование по схеме генератор — двигатель и импульсный метод регулирования).

Реостатное регулирование в танковом электроприводе не находит применения, так как при увеличении нагрузки происходит значительное изменение скорости вращения, особенно при малых скоростях наведения. Велики также потери энергии в реостате.

Регулирование скорости вращения ослаблением возбуждения в приводах наведения также не применяется, так как при этом возможно только увеличение скорости вращения выше номинальной. Кроме того, при уменьшении магнитного потока увеличивается ток, потребляемый двигателем из сети.

Регулирование по схеме Г—Д. Регулирование скорости изменением подводимого напряжения U осуществляется путем питания электродвигателя привода от отдельного генератора с регулируемым напряжением.

Принцип работы схемы Г—Д (генератор — двигатель) заключается в следующем: исполнительный электродвигатель *Д* (рис. 3.3), вращающий объект наведения, питается от отдельного генератора *Г* с регулируемым в широких пределах напряжением. Этот генератор приводится во вращение с постоянной скоростью специальным приводным электродвигателем ПД. Возбуждение всех электрических машин независимое (обмотки возбуждения питаются от аккумуляторных батарей).

Регулируя напряжение генератора *Г* реостатом в цепи его возбуждения, можно изменять напряжение $U_г$, подводимое к исполнительному электродвигателю, и, следовательно, регулировать его скорость вращения.

Несмотря на сложность и высокую стоимость схемы Г—Д, она получила широкое применение в тех случаях, когда требуется точная и точная регулировка скорости вращения в широком диапазоне.

Основные преимущества схемы Г — Д следующие.

Значительно большая жесткость искусственных характеристик. Уравнение механической характеристики электродвигателя независимого возбуждения имеет вид

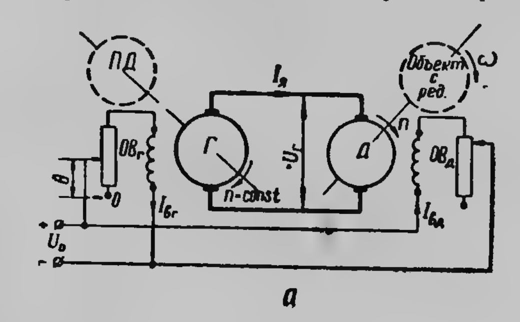
$$n = \frac{U_г}{C'_e} - M \frac{R_я}{C'_e C'_m},$$

так как $R_р = 0$, а напряжение генератора равно

$$U_г = E - I_г R_г = E - \frac{M}{C'_m} R_г,$$

где E — э. д. с. генератора;

$R_г$ — сопротивление обмотки якоря генератора.



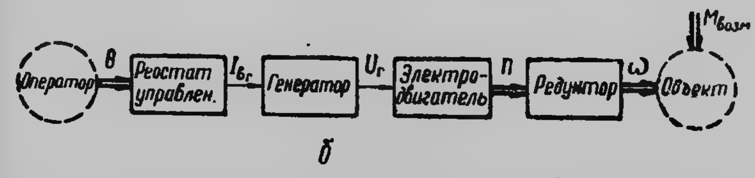


Рис. 3.3. Электрическая (*а*) и функциональная (*б*) схемы привода при регулировании скорости по схеме генератор — двигатель

Подставляя выражение для $U_г$ в уравнение механической характеристики, получим

$$n = \frac{E - \frac{M}{C'_m} R_г}{C'_e} - M \frac{R_я}{C'_m C'_e} = \frac{E}{C'_e} - M \frac{R_г + R_я}{C'_e C'_m}.$$

Таким образом, если считать $E = \text{const}$, то наклон характеристик будет определяться лишь сравнительно небольшой величиной $R_я + R_г$, и характеристики для разных скоростей, т. е. при разной величине э. д. с. генератора E, которая регулируется искусственно, пойдут параллельно (рис. 3.4), вследствие чего обеспечивается значительно бо́льшая устойчивость малых скоростей, чем при реостатном регулировании. Последнее особенно заметно при сравне-

нии механических характеристик схемы Г—Д с соответствующими характеристиками реостатного регулирования, изображенными на рис. 3.4 пунктиром.

Повышение устойчивых малых скоростей способствует снижению значения минимальной устойчивой скорости исполнительного двигателя, а следовательно, повышению кратности регулирования.

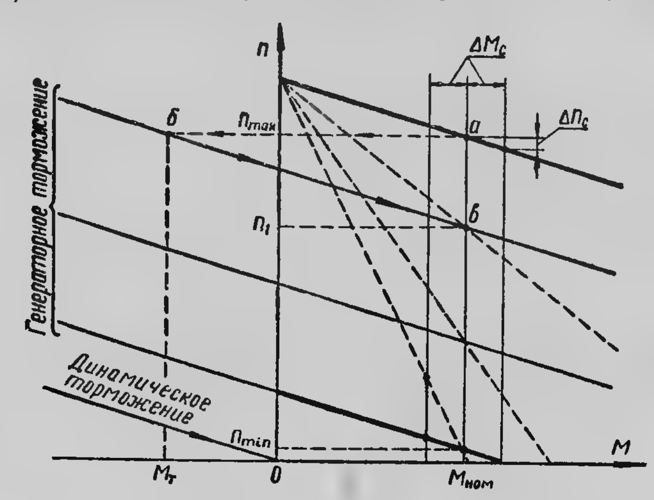


Рис. 3.4. Механические характеристики электропривода, выполненного по схеме Г — Д

Малый ток управления. Управление скоростью вращения исполнительного электродвигателя производится регулировкой тока возбуждения генератора, который значительно меньше, чем ток в цепи якоря. Поэтому размеры регулировочных реостатов и контактов резко уменьшаются, и усилие, необходимое для управления реостатом, значительно снижается. Направление вращения (реверсирование) электродвигателя изменяется, как правило, изменением направления тока в обмотке возбуждения генератора простым и малогабаритным переключателем.

Удобство и легкость электрического торможения для быстрой остановки исполнительного двигателя. Уменьшение скорости вращения электродвигателя достигается, например, снижением напряжения генератора от величины, соответствующей скорости n_{max} (рис. 3.4), до величины, соответствующей скорости n_1. При этом электродвигатель, работавший в точке *а* характеристики, сохраняя в первый момент прежнюю скорость вращения, переходит в генераторный режим (точка *б*), вследствие чего получающееся генераторное торможение обеспечивает быстрое уменьшение скорости до нового значения, соответствующего точке *в*.

Если для остановки исполнительного двигателя внезапно выключить возбуждение генератора, то его э. д. с. станет равной нулю ($E=0$) и исполнительный электродвигатель окажется замкнутым накоротко через якорь генератора; получающееся при этом электродинамическое торможение обеспечит резкую остановку привода в заданном положении. Наконец, при быстрой перемене направления вращения исполнительного двигателя получим также торможение противовключением.

Несмотря на перечисленные достоинства, схема Г—Д в простейшем виде не обеспечивает предъявляемых к электроприводу наведения технических требований по диапазону регулирования, времени разгона и торможения исполнительного двигателя.

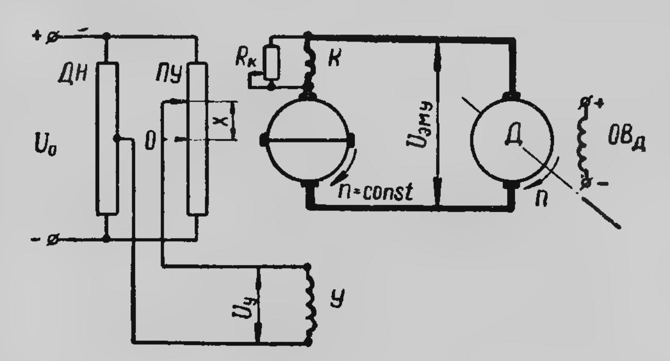


Рис. 3.5. Схема Г — Д с электромашинным усилителем в качестве генератора

Значительное улучшение характеристик электромашинного привода наведения может быть достигнуто применением в схеме Г—Д электромашинного усилителя вместо обычного генератора.

Регулировка скорости вращения двигателя по схеме Г—Д с электромашинным усилителем (рис. 3.5) практически не отличается от регулирования скорости в схеме Г—Д с обычным генератором. При изменении напряжения $U_у$, подводимого к обмотке управления, изменяется магнитный поток управления $\Phi_у$, а следовательно, и величина напряжения ЭМУ. Это напряжение подается на исполнительный электродвигатель, скорость которого устанавливается в соответствии с величиной и полярностью напряжения, подводимого к якорю. Реверсирование скорости осуществляется изменением полярности напряжения ЭМУ.

§ 3.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С ЭЛЕКТРОМАШИННЫМ УСИЛИТЕЛЕМ

Применение ЭМУ в схеме электропривода открывает более широкие возможности для автоматизации привода, позволяет существенно снизить мощность, а следовательно, габариты и вес аппаратов управления. Возможность регулировки степени компенсации ЭМУ упрощает задачу обеспечения защиты исполнительного элек-

тродвигателя от перегрузок; изменяя величину регулировочного сопротивления, шунтирующего компенсационную обмотку ЭМУ, можно ограничить максимальное значение тока в цепи якорей ЭМУ пределами, безопасными для данного типа электродвигателя.

Автоматизация электропривода, выполненного по схеме Г—Д с ЭМУ, обеспечивается введением жесткой отрицательной обратной связи, т. е. переходом от разомкнутой схемы регулирования к замкнутой. При этом наилучшие результаты могут быть получены введением жесткой отрицательной обратной связи по скорости вращения исполнительного электродвигателя (рис. 3.6).

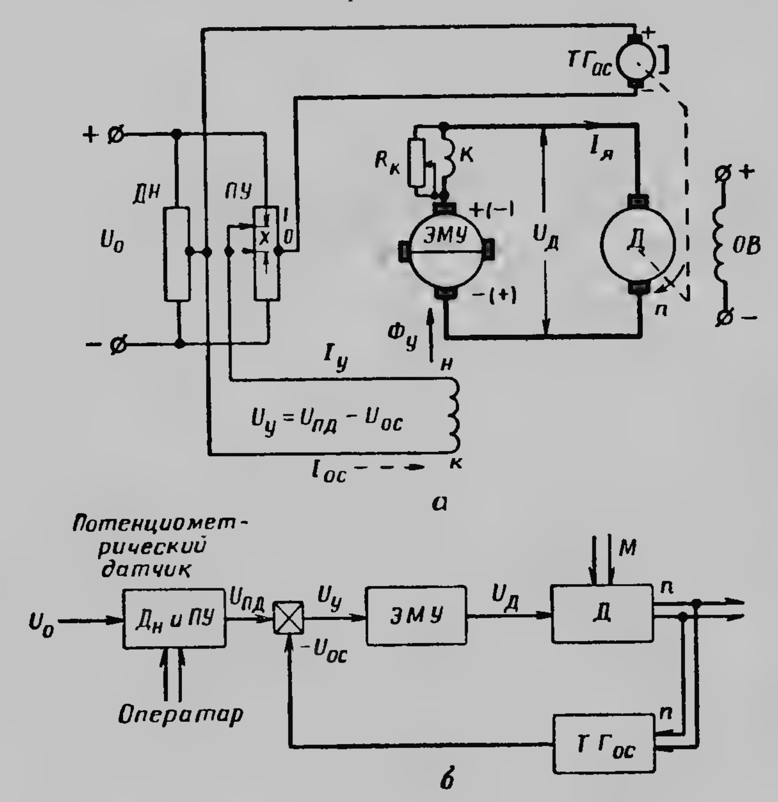


Рис. 3.6. Схема Г — Д с ЭМУ и отрицательной обратной связью по скорости вращения исполнительного двигателя:
а — принципиальная схема; *б* — функциональная схема

Напряжение обратной связи, изменяющейся пропорционально скорости вращения исполнительного двигателя, можно получить с помощью тахогенератора. Тахогенератор — это небольшой генератор, обычно с возбуждением от постоянных магнитов. Якорь тахогенератора механически соединен с валом исполнительного двигателя. Поскольку магнитный поток тахогенератора постоянен,

а его нагрузка очень мала, напряжение тахогенератора прямо пропорционально скорости вращения исполнительного электродвигателя:

$$U_{тг} = K_{ОС} n.$$

Суммирование (алгебраическое) сигналов управления и обратной связи осуществляется в потенциометрическом датчике. В этом случае магнитный поток управления $\Phi_у$ пропорционален разности напряжений — управляющего $U_{Пу}$ и обратной связи $U_{ОС}$, так как $U_у = U_{ПД} - U_{ОС}$.

Введение жесткой отрицательной обратной связи по скорости вращения исполнительного электродвигателя приводит к значительному уменьшению изменения скорости вращения двигателя при увеличении нагрузки и повышению быстродействия привода.

Действительно при заданном положении движка потенциометра управления скорость вращения исполнительного электродвигателя может отклоняться от заданного значения. Причиной этого может быть изменение нагрузки $M_с$, изменение напряжения питающей сети, изменение скорости вращения приводного двигателя ЭМУ и т. д. Однако поскольку управляющий сигнал на входе ЭМУ определяется разностью напряжений $U_{ПД}$ и $U_{ОС}$, а

$$U_у = U_{ПД} - U_{ОС} = U_{ПД} - K_{ОС} n,$$

то при каждом отклонении скорости от заданного значения происходит соответствующее изменение величины управляющего напряжения $U_у$, вследствие чего эти отклонения значительно уменьшаются. Так, например, если скорость вращения исполнительного двигателя уменьшилась, то соответственно уменьшается напряжение обратной связи, а напряжение на обмотке управления ЭМУ возрастает. В случае увеличения скорости вращения увеличивается напряжение обратной связи, напряжение управления уменьшается и скорость вращения двигателя снизится примерно до первоначального значения.

Указанное свойство весьма важно для привода, в котором в качестве генератора используется электромашинный усилитель. Коэффициент усиления ЭМУ в процессе работы может изменяться довольно значительно (до 30%), что соответствующим образом сказывается на скорости вращения исполнительного электродвигателя. Ввиду этого схема Г—Д с ЭМУ без обратных связей практически неработоспособна.

П о в ы ш е н и е   б ы с т р о д е й с т в и я   п р и в о д а обусловлено тем, что в схеме Г — Д с ЭМУ с отрицательной обратной связью по скорости исполнительного электродвигателя осуществляется форсировка переходных процессов разгона и торможения.

Если движок потенциометра управления находится в средней точке *О*, то напряжение на обмотке управления ЭМУ и ток в ней равны нулю. ЭМУ не возбужден, и напряжение на зажимах якоря двигателя равно нулю. Исполнительный двигатель не вращается, поэтому напряжение обратной связи также равно нулю.

Переместим движок потенциометра управления в положение 1, показанное на рис. 3.6, *а*. В этом случае на обмотку управления ЭМУ подается управляющее напряжение $U_у = U_{ПД}$, под действием которого возникает ток, проходящий от начала обмотки *Н* к ее концу *К*. Электромашинный усилитель возбуждается, и на его продольных щетках появляется напряжение $U_д$. (Условимся, что, если в обмотке управления ЭМУ ток направлен от *Н* к *К*, положительной является верхняя щетка ЭМУ, если от *К* к *Н* — нижняя щетка.)

Так как обмотка возбуждения двигателя подключена к источнику напряжения, то начинается разгон исполнительного двигателя.

С началом вращения двигателя возникает напряжение обратной связи $U_{ОС}$. По мере увеличения скорости вращения исполнительного двигателя это напряжение возрастает, а напряжение $U_у$ на обмотке управления ЭМУ, равное разности $U_{ПД}$ и $U_{ОС}$, уменьшается, достигая к концу процесса разгона установившегося значения, соответствующего заданной скорости $U_{уст}$.

Как видно из графиков, приведенных на рис. 3.7, в начальный момент работы привода к обмотке управления ЭМУ подводится напряжение, величина которого в несколько раз превышает значение, необходимое для обеспечения заданной скорости двигателя. Повышение напряжения на обмотке управления форсирует процесс возбуждения ЭМУ, в результате чего ток якоря электродвигателя в процессе разгона возрастает в несколько раз по сравнению с режимом разгона без форсировки. Увеличение тока якоря приводит к соответствующему увеличению вращающего момента,

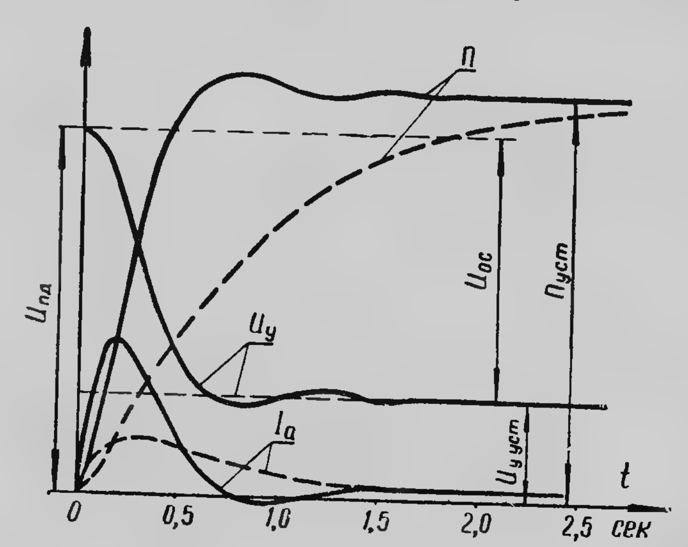


Рис. 3.7. Переходные процессы в схеме Г — Д с ЭМУ при наличии форсировки (сплошные кривые) и без форсировки (пунктир)

развиваемого электродвигателем, и к ускорению процесса разгона исполнительного двигателя.

Для сравнения на том же рис. 3.7 пунктиром показана кривая разгона исполнительного двигателя без форсировки, т. е. в приводе без обратной связи.

Форсировка процесса торможения осуществляется следующим образом. При перемещении движка в положение, соответствующее меньшей скорости, например в среднюю точку (торможение до полной остановки), управляющее напряжение $U_{ПД}$ становится равным нулю. Однако двигатель по инерции продолжает некоторое время вращаться, поэтому напряжение обратной связи $U_{ОС}$ не равно нулю и к обмотке управления ЭМУ будет приложено напряжение

$$U_у = -U_{ОС} = K_{ОС} n$$

противоположной полярности.

Под действием этого напряжения в обмотке управления изменяется направление тока. Теперь ток будет направлен от *К* к *Н*. Вследствие этого изменится и полярность ЭМУ. При этом э. д. с. ЭМУ и противо-э. д. с. двигателя начинают действовать согласно, обеспечивая значительное увеличение тока в цепи якорей:

$$I_а = \frac{-U_д - E_{обр}}{R_\Sigma} = -\frac{U_д + E_{обр}}{R_\Sigma}.$$

Так как при этом ток $I_а$ меняет свое направление, то изменится и направление вращающего момента. Исполнительный двигатель быстро тормозится. При остановке двигателя ($n=0$) напряжение на обмотке управления ЭМУ и его э. д. с. снижаются до нуля; уменьшается до нуля и ток в цепи якорей.

Заметим, что изменение полярности напряжения ЭМУ обеспечивает более интенсивное торможение, чем обычное электродинамическое торможение, когда тормозной момент обусловлен током в цепи якорей, создающимся лишь под действием противо-э. д. с. двигателя ($U_д=0$):

$$I_а = -\frac{E_{обр}}{R_\Sigma}.$$

Таким образом, **отрицательная обратная связь по скорости вращения исполнительного двигателя форсирует процессы разгона и торможения, а также стабилизирует скорость вращения электродвигателя при неизменном положении движка потенциометра.**

Работа привода в режиме электрического тормоза. Наличие в схеме Г—Д с ЭМУ жесткой отрицательной обратной связи обеспечивает при нейтральном положении движка потенциометра управления работу привода в режиме электрического тормоза. При этом внешний момент, стремящийся повернуть якорь исполнительного электродвигателя, будет в значительной

степени уравновешиваться развиваемым электродвигателем вращающим моментом. Пусть под действием внешнего момента (в электроприводе башни им является, например, момент, возникающий при крене танка) исполнительный электродвигатель стремится повернуться в направлении, указанном на рис. 3.6, *а* стрелкой. Вместе с двигателем начинает вращаться якорь тахогенератора, напряжение которого имеет полярность, указанную на рисунке. Это напряжение полностью подводится к обмотке управления ЭМУ (движок потенциометра управления в точке *О*), обеспечивая в ней ток в направлении от *К* к *Н*. Электромашинный усилитель возбуждается, причем его э. д. с. имеет такую полярность (знаки в скобках), при которой вращающий момент, развиваемый исполнительным электродвигателем, противодействует внешнему моменту.

Итак, применение жесткой отрицательной обратной связи по скорости вращения исполнительного двигателя обеспечивает значительное улучшение параметров электропривода.

Однако применение тахогенератора усложняет схему и уменьшает ее надежность. Поэтому в исполнительных электроприводах

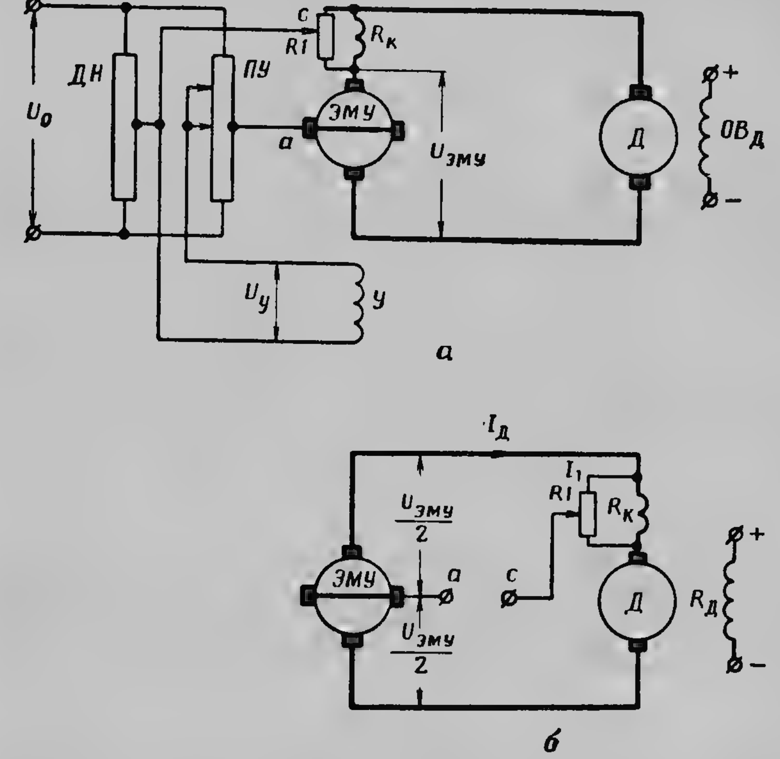


Рис. 3.8. Схема Г — Д с ЭМУ с отрицательной обратной связью по скорости вращения, выполненной по схеме тахометрического моста: *а* — схема Г — Д с ЭМУ; *б* — тахометрический мост

танковых автоматических систем, выполненных по схеме Г—Д, напряжение, пропорциональное скорости вращения исполнительного электродвигателя, получают без помощи тахогенератора, используя схему тахометрического моста.

Обратная э. д. с. $E_{обр}$ исполнительного двигателя схемы Г—Д прямо пропорциональна скорости вращения n. Напряжение, пропорциональное обратной э. д. с. исполнительного двигателя, можно получить между точками a и c схемы рис. 3.8.

Точка a — короткозамкнутые щетки ЭМУ, а точка c — на сопротивлении компенсации $R_к$.

Решая систему уравнений Кирхгофа (рис. 3.8, *б*)

$$0{,}5U_{ЭМУ} = U_{a,c} + I_1R_1;$$

$$0{,}5U_{ЭМУ} = U_{a,c} - U_д - I_1(R_к - R_1) =$$
$$= U_{a,c} - E_{обр} - I_дR_д - I_1(R_к - R_1),$$

получим

$$2U_{a,c} = E_{обр} - I_дR_д - I_1(2R_1 - R_к),$$

где $R_д$ — сопротивление якоря двигателя;
$R_к$ — компенсационное сопротивление ЭМУ;
R_1 — часть компенсационного сопротивления.

Если при настройке выполнено условие

$$I_дR_д - I_1(2R_1 - R_к) = 0,$$

то

$$U_{a,c} = 0{,}5E_{обр} = 0{,}5C_e'n,$$

т. е. напряжение на выходе тахометрического моста между точками a и c пропорционально скорости вращения исполнительного двигателя.

Действие и характеристики схемы электропривода с тахометрическим мостом аналогичны процессам и характеристикам схемы электропривода с тахогенератором.

§ 3.4. ИМПУЛЬСНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Рассмотренные выше системы регулирования скорости исполнительных двигателей предусматривают изменение напряжения, подводимого к двигателю. Для этой цели необходимо минимум три электрических машины: приводной двигатель, электромашинный усилитель и исполнительный двигатель (рис. 3.9, *а*).

В рассмотренных электроприводах трижды осуществляется преобразование энергии: электрической в механическую — в приводном двигателе, механической в электрическую — в электромашинном усилителе и электрической в механическую — в исполнительном двигателе.

Преобразование энергии связано с потерями, и максимальное значение к. п. д. всей схемы составляет 30—35%. Кроме того, подобные системы имеют относительно большие габариты и вес.

Повышение к. п. д., уменьшение габаритов и веса привода, а также увеличение надежности схемы за счет уменьшения количества элементов можно осуществить, применяя импульсный метод регулирования скорости исполнительного двигателя с помощью статического преобразователя.

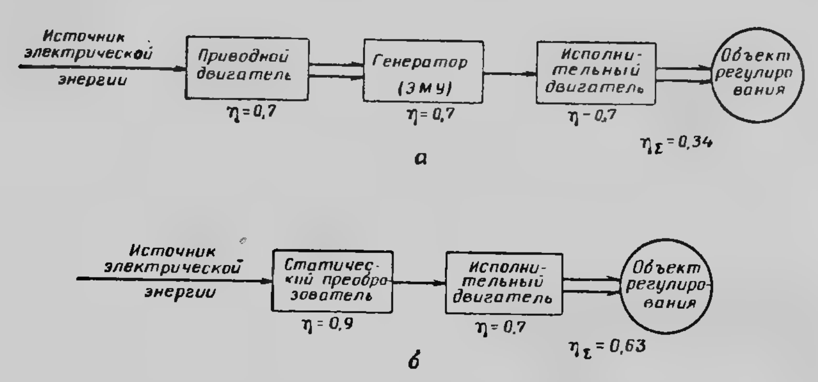


Рис. 3.9. Функциональные схемы регулирования скорости исполнительного двигателя:
а — по схеме генератор — двигатель; *б* — по схеме со статическим преобразователем (импульсное регулирование)

Как видно из функциональной схемы (рис. 3.9, *б*), источник электрической энергии питает исполнительный двигатель через статический преобразователь. В схеме регулирования скорости исключен полностью промежуточный преобразователь энергии — приводной двигатель и электромашинный усилитель, следовательно, к. п. д. системы практически определяется к. п. д. исполнительного двигателя.

Статический преобразователь осуществляет импульсное регулирование скорости исполнительного двигателя, подводя к электродвигателям импульсы неизменного напряжения.

На рис. 3.10 показана простейшая схема импульсного регулирования скорости вращения исполнительного двигателя.

Электромагнитное реле, обмотка *ОУ* которого подключена к источнику управляющего (в данном случае переменного) напряжения, подключает своими контактами *К* якорь электродвигателя к сети с напряжением U_0.

При увеличении управляющего напряжения до величины напряжения срабатывания $U_{ср}$ реле (рис. 3.10, *а*) контакты *К* замыкаются и двигатель подключается к источнику тока. При уменьшении управляющего напряжения до величины напряжения отпускания $U_{отп}$ реле контакты *К* размыкаются и электродвигатель отключается от источника тока. Поскольку управляющее напряжение переменное, то этот процесс непрерывно повторяется с ча-

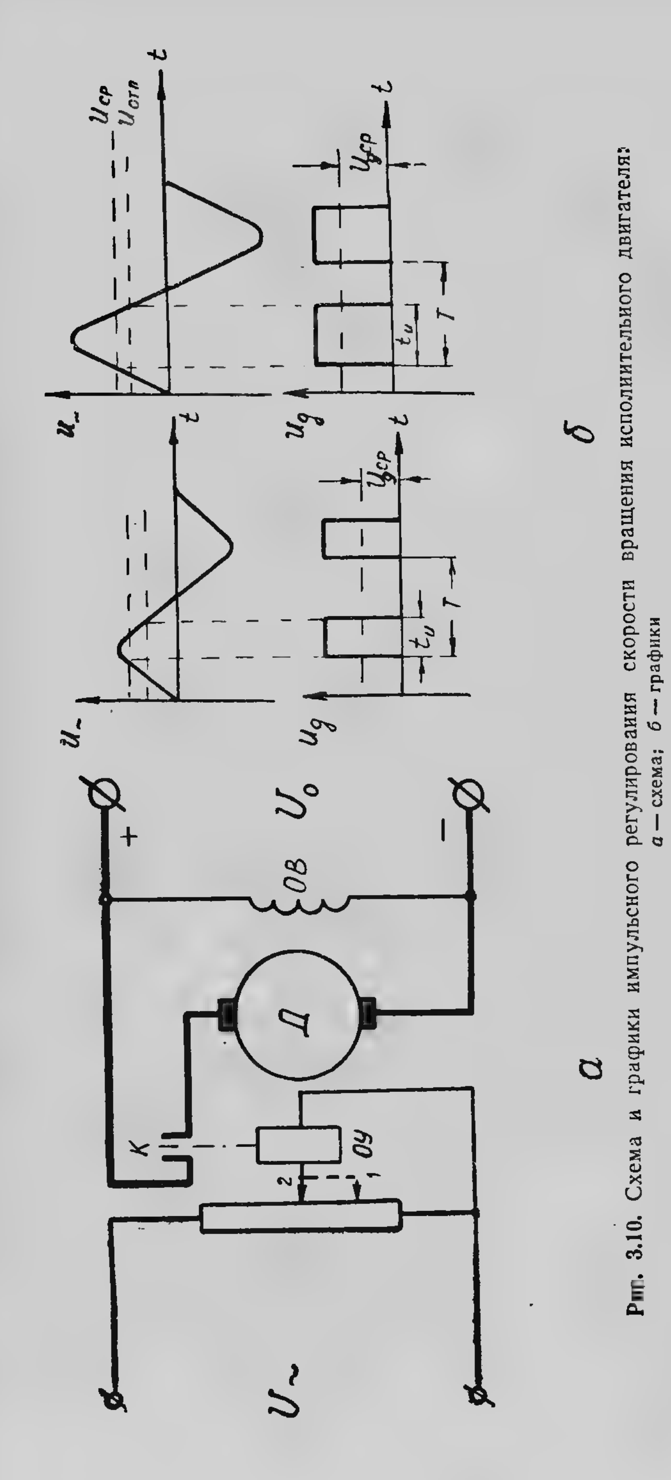


Рис. 3.10. Схема и графики импульсного регулирования скорости вращения исполнительного двигателя:
а — схема; *б* — графики

стотой управляющего напряжения, а к электродвигателю подводится напряжение в виде импульсов постоянной величины. Длительность импульса $t_и$ зависит от величины сигнала управления (рис. 3.10, *б*), а период повторения импульсов T определяется частотой изменения управляющего напряжения.

Среднее напряжение, подводимое к электродвигателю, определяет среднюю скорость вращения его якоря и будет равно

$$U_{д.\,ср} = \frac{t_и}{T} U_0 .$$

Отношение длительности импульса к периоду повторения импульсов называется относительной продолжительностью импульса или скважностью

$$\gamma = \frac{t_и}{T} .$$

Скважность изменяется от 0 до 1, следовательно, можно изменять напряжение, подводимое к двигателю, от 0 до U_0 и таким образом увеличивать скорость вращения от нуля до номинального значения.

Однако применение электромагнитного реле в качестве импульсного элемента нецелесообразно, так как у него ограничены частота переключений и разрывная мощность на контактах.

Поэтому в качестве импульсных элементов широко применяются транзисторы.

Транзистор (полупроводниковый триод) нашел применение в схемах импульсного регулирования благодаря свойству изменять свое сопротивление в широких пределах от сотых долей ома до сотен тысяч ом.

Свойства транзистора как управляемого сопротивления могут быть проиллюстрированы зависимостью сопротивления $R_{э.\,к}$ между электродами эмиттер — коллектор от величины управляющего напряжения $U_{э.\,к}$.

В выходную цепь транзистора включено сопротивление нагрузки $R_н$ (рис. 3.11, *а*), причем напряжение источника тока подключено так, чтобы к эмиттеру был приложен плюс.

При наличии управляющего напряжения на зажимах транзистора («плюс» на эмиттере, а «минус» на базе, при этом потенциал эмиттера больше потенциала базы) в цепи базы потечет ток $I_б$, а в цепи коллектора ток $I_к$. Ток эмиттера будет равен сумме токов:

$$I_э = I_б + I_к .$$

Таким образом, при действии отпирающего напряжения $U_{э.\,б}$ транзистор открывается, сопротивление эмиттер—коллектор составляет сотые доли ома, ток $I_к$ в цепи нагрузки растет пропорционально управляющему напряжению.

При дальнейшем увеличении управляющего напряжения и при условии, что $U_{э.\,к} = U_{э.\,б}$, т. е. падение напряжения в цепи эмиттер — база равно падению напряжения на зажимах эмиттер —

коллектор, транзистор полностью откроется, его выходное сопротивление достигает минимальной величины; подобное состояние транзистора называется граничным состоянием насыщения. Величина тока $I_к$ возрастает до максимальной и определяется сопротивлением $R_н$ нагрузки.

Величина тока базы $I_б$, создающего состояние насыщения, определяется величиной напряжения $U_{э.\,б}$, приложенного к зажимам эмиттер — база, и измеряется миллиамперами. Ток базы значительно меньше тока коллектора и равен $I_б = (0{,}05—0{,}1)\ I_к$.

При дальнейшем увеличении управляющего напряжения ток $I_к$ в цепи нагрузки увеличиваться практически не будет, так как его величина определяется сопротивлением нагрузки $R_н$, но внутреннее сопротивление транзистора будет уменьшаться. Такое состояние транзистора называется состоянием насыщения, характеризуется минимальным значением сопротивления и, следовательно, минимальным значением мощности, выделяемой в транзисторе.

Так, например, при управляющем напряжении $U_{э.\,б} = 0{,}3—0{,}5$ *в* минимальное сопротивление транзистора П-210 при токе нагрузки $I_к = 10$ *а* равно 0,1 *ом*.

При изменении полярности управляющего напряжения $U_{э.\,б}$, если к эмиттеру будет приложен «минус», а к базе — «плюс», т. е. потенциал эмиттера будет меньше потенциала базы (рис. 3.11, *б*), сопротивление транзистора резко увеличится и достигнет нескольких десятков тысяч ом. Ток, протекающий через транзистор $I_{к.\,о}$, уменьшится до долей миллиампера. Транзистор будет закрыт, т. е. будет находиться в состоянии отсечки, при этом ток в цепи нагрузки минимален.

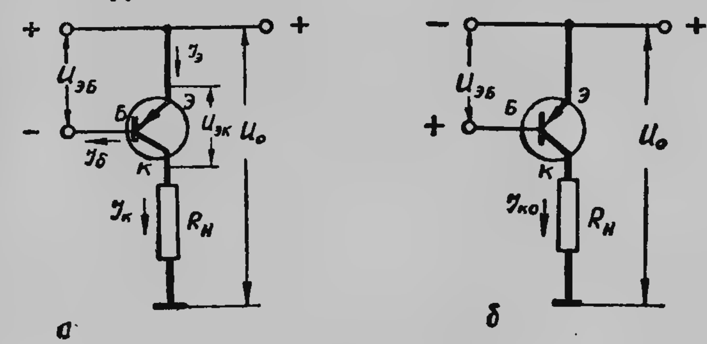


Рис. 3.11. Режимы работы транзистора:
а — состояние «открыт»; *б* — состояние «закрыт»

Так, для транзистора П-210 при напряжении $U_{э.\,б} = -(0{,}2—1)$ *в* сопротивление транзистора $R_{эк.\,max}$ равно десяткам тысяч ом.

В состоянии отсечки мощность, рассеиваемая в транзисторе, также минимальна.

Итак, **изменяя величину и полярность управляющего напряжения, можно переводить транзистор из состояния насыщения** (минимальное сопротивление) **в состояние отсечки** (максимальное со-

противление), т. е. изменять величину внутреннего сопротивления транзистора и, следовательно, величину падения напряжения и тока в цепи нагрузки, включенной последовательно с транзистором.

Обычно транзистор используется в режиме переключения, т. е. управляющее напряжение изменяется скачком и транзистор работает в двух установившихся состояниях «открыт» — «закрыт». При этом мощность, рассеиваемая в транзисторе, минимальна и, следовательно, нагрев его не превышает допустимых значений.

Переключать транзистор из состояния отсечки в состояние насыщения можно с помощью прямоугольных импульсов напряжения, приложенных к цепи эмиттер — база транзистора, или с помощью электромагнитного реле, контакты которого шунтируют коллекторный переход транзистора.

На рис. 3.12 показана принципиальная схема управления транзистором T в режиме переключения с помощью электромагнитного реле, контакты которого включены в цепь базы транзистора. В цепи эмиттера включен диод $Д_0$, падение напряжения на кото-

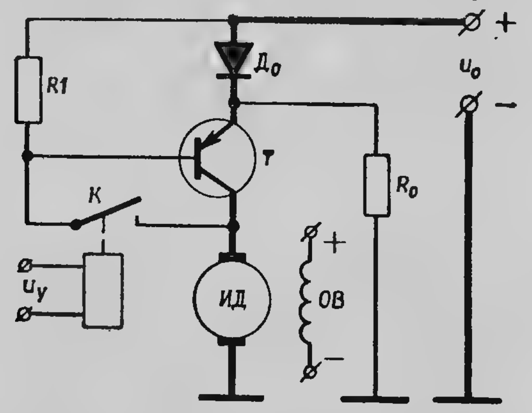


Рис. 3.12. Принципиальная схема импульсного регулирования скорости вращения с транзистором

ром при разомкнутых контактах K создает напряжение, запирающее транзистор. При разомкнутых контактах напряжение на якоре двигателя равно нулю. При замыкании контактов K падение напряжения на сопротивлении R1 отпирает транзистор, его сопротивление резко уменьшается, напряжение на якоре двигателя увеличивается до значения U_0. Изменяя состояние транзистора, можно изменять напряжение, приложенное к якорю двигателя, и тем самым изменять скорость его вращения.

§ 3.5. ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ

Электрогидроприводом называют систему агрегатов и машин, предназначенных для преобразования электрической энергии в механическую и передачи ее с помощью рабочей жидкости.

Электрогидропривод состоит из следующих элементов:

— насоса постоянной или переменной производительности с приводным электрическим двигателем;

— гидравлического регулятора;

— исполнительного гидравлического двигателя.

Кроме того, в состав электрогидропривода входят трубопроводы, пополнительный бак и другие вспомогательные устройства.

В качестве рабочей жидкости в танковых гидравлических приводах применяются минеральные масла.

Принцип действия гидравлического привода состоит в том, что **энергия первичного электрического двигателя преобразуется в потенциальную энергию давления жидкости, которая** исполнительным гидравлическим двигателем **вновь преобразуется в механическую энергию.**

Скорость исполнительного гидравлического двигателя регулируется изменением количества рабочей жидкости, поступающей в его рабочие полости с помощью гидравлического усилителя или насоса переменной производительности. Управление гидравлическим усилителем производится с помощью электромагнитов, питающихся от электронного, полупроводникового или магнитного усилителя.

Гидравлический усилитель перераспределяет поток жидкости между рабочими полостями гидродвигателя пропорционально управляющему сигналу.

По принципу регулирования скорости гидравлические приводы разделяются на две группы: гидроприводы объемного и дроссельного регулирования. Если применяется насос постоянной производительности, то привод называют приводом дроссельного регулирования, если применяется насос переменной производительности — приводом объемного регулирования.

Мощность, необходимая для управления гидравлическим приводом, значительно меньше мощности, развиваемой гидравлическим двигателем. Поэтому коэффициент усиления по мощности гидравлических устройств достигает больших значений ($k_p = 10^3—10^4$).

Гидравлические приводы обладают высоким быстродействием, значительно бóльшим, чем электроприводы соответствующей мощности, что объясняется главным образом практической несжимаемостью рабочей жидкости.

Перечисленные положительные свойства гидравлических приводов обусловливают их применение в танковых системах автоматического регулирования наравне с электромашинными приводами.

Рассмотрим более подробно элементы электрогидропривода.

Насос — гидравлическая машина, преобразующая механическую энергию приводного двигателя в энергию рабочей жидкости.

В танковых гидравлических приводах применяются два типа насосов: шестеренные постоянной производительности и поршневые постоянной или переменной производительности.

Шестеренные насосы с внешним зацеплением представляют собой две, три шестерни или более, одна из них является ведущей (рис. 3.13).

При вращении шестерни в направлении, указанном стрелками, каждая зубцовая впадина переносит некоторый объем рабочей жидкости. При этом там, где зубья выходят из зацепления, происходит всасывание жидкости, а там, где зубья вступают в зацепление, происходит нагнетание рабочей жидкости в выходной трубопровод.

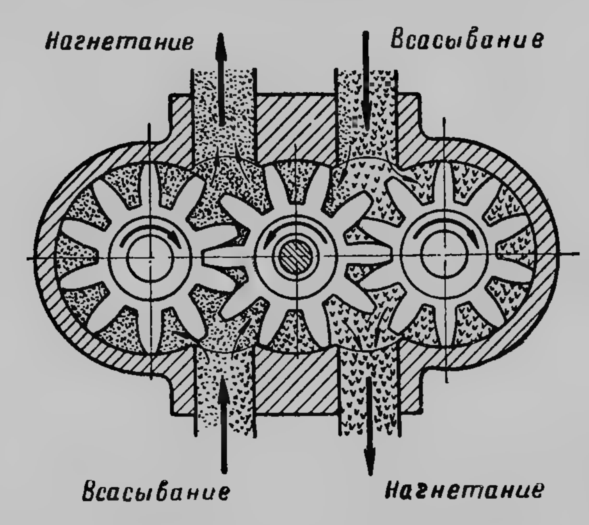


Рис. 3.13. Шестеренный насос постоянной производительности

Шестеренные насосы отличаются простотой изготовления, малым весом и габаритами.

Увеличение производительности шестеренного насоса достигается увеличением скорости вращения ведущей шестерни или увеличением числа шестерен.

Недостатками шестеренных насосов, применяемых в танковых гидроприводах, являются:

— относительно низкое давление рабочей жидкости;

— низкое значение к. п. д. насоса (до 50%);

— относительно малая производительность — 10—11 *л/мин.*

Поршневой насос[1] (рис. 3.14) состоит из статора *1* (корпуса), ротора *2* и управляемой наклонной шайбы *4*. По окружности ротора расположены цилиндры *3* с поршнями. Ротор соединен с ведущим валом с помощью карданного шарнира, а поршни соединены с наклонной шайбой с помощью штоков с шаровыми головками. Рабочие полости цилиндров поршневых насосов через

[1] Подобный тип насоса называется также роторно-поршневым (аксиальным).

специальные дуговые окна сообщаются с входным и выходным трубопроводами.

При вращении ротора насоса вследствие наклона оси блока цилиндров по отношению к приводному валу поршни вращаются и совершают относительно оси цилиндров возвратно-поступательное движение. За один оборот вала каждый поршень совершает два хода: в течение первой половины оборота происходит всасывание жидкости, а в течение второй половины — нагнетание. Производительность поршневых насосов зависит от угла наклона

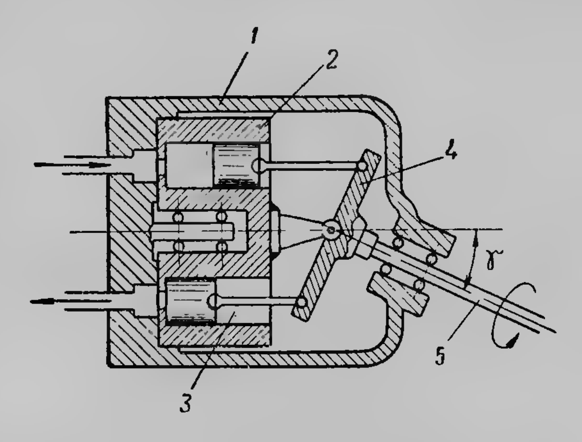


Рис. 3.14. Поршневой насос:
1 — корпус; *2* — блок цилиндров (ротор); *3* — цилиндр с поршнем; *4* — шайба; *5* — ведущий вал

шайбы и при регулировании может изменяться от нуля до максимального значения. В насосах постоянной производительности угол наклона шайбы не изменяется и составляет обычно 30°.

Поршневые насосы по сравнению с шестеренными позволяют создать в системе большее давление (до 75 *кгс/см*²), получить большую производительность (до 20 *л/мин*) и имеют высокий к. п. д.

Недостатком поршневых насосов является сложность конструкции.

Однако широкое применение поршневых насосов различной мощности и габаритов в промышленности и военной технике дает возможность использовать их также и в танковых автоматических системах.

Системы регулирования или гидравлические усилители (регуляторы) предназначены для управления потоком рабочей жидкости, поступающей от гидронасоса к исполнительному гидродвигателю.

В танковых автоматических системах применяются, как правило, дифференциальные схемы, обеспечивающие широкий диапазон изменения скоростей исполнительного двигателя.

Управление гидроусилителями осуществляется обычно с помощью поворотных электромагнитов. Широко применяются три типа гидравлических регуляторов: клапанные, золотниковые и типа «сопло — заслонка» (рис. 3.15).

Клапанные регуляторы (рис. 3.15, *а*) состоят из двух игольчатых клапанов, положение которых зависит от угла поворота коромысла.

В исходном положении при отсутствии управляющего момента $M_у$ давление жидкости, создаваемое насосом, действующей на игольчатые клапаны, будет одинаково и иглы занимают одинаковое положение. При этом проходные сечения под иглами клапанов одинаковы и разность давлений P_1 и P_2 в трубопроводах, соединенных с рабочими полостями исполнительного гидродвигателя или следующего каскада управления, равна нулю.

Если управляющий момент не равен нулю, то коромысло клапанного регулятора повернется на некоторый угол. Одна из игл подойдет к седлу, и проходное сечение уменьшится, а другая игла отойдет от седла, и проходное сечение увеличится.

В зависимости от величины проходного сечения под иглами изменяется скорость исполнительного гидродвигателя: чем меньше проходное сечение, тем больше жидкости поступает в гидродвигатель, тем выше его скорость.

Клапанный регулятор является простейшей системой управления и поэтому широко применяется в гидравлических приводах.

Золотниковый регулятор (рис. 3.15, *б*) состоит из двух золотников, перекрывающих проходные сечения жидкости от насоса к гидравлическому двигателю.

При отсутствии управляющего сигнала на оба золотника действуют одинаковые силы давления жидкости. При этом золотники находятся в состоянии равновесия, занимают относительно рабочих каналов и каналов слива среднее положение. Давления в трубопроводах, соединенных с гидродвигателем, равны.

Под действием управляющего момента поворачивается коромысло и золотники перемещаются так, что проходные сечения в одной полости увеличиваются, а в другой уменьшаются.

Изменение проходного сечения пропорционально изменяет поток жидкости гидравлического насоса.

Однако отсутствие дополнительных устройств (обратной связи в золотнике) приводит к тому, что давление жидкости в выходном трубопроводе не уравновешивает силу, созданную на золотнике управляющим моментом, поэтому даже при незначительном усилии золотник перемещается в крайнее положение. Для того чтобы перемещение золотника было пропорционально управляющему сигналу, необходимо ввести в регулятор жесткую отрицательную обратную связь по давлению. Такая связь обеспечивается с помощью плунжеров обратной связи, установленных в осевых сверлениях золотников. При этом сила при воздействии управляющего момента уравновешивается силой давления жидкости в полости плунжера обратной связи, поэтому каждому значению управляющего воздействия соответствует определенное положение золотника.

Применение золотникового регулятора дает возможность при меньшем значении управляющего момента (по сравнению с клапанным регулятором) получить бóльшую разность давления в ра-

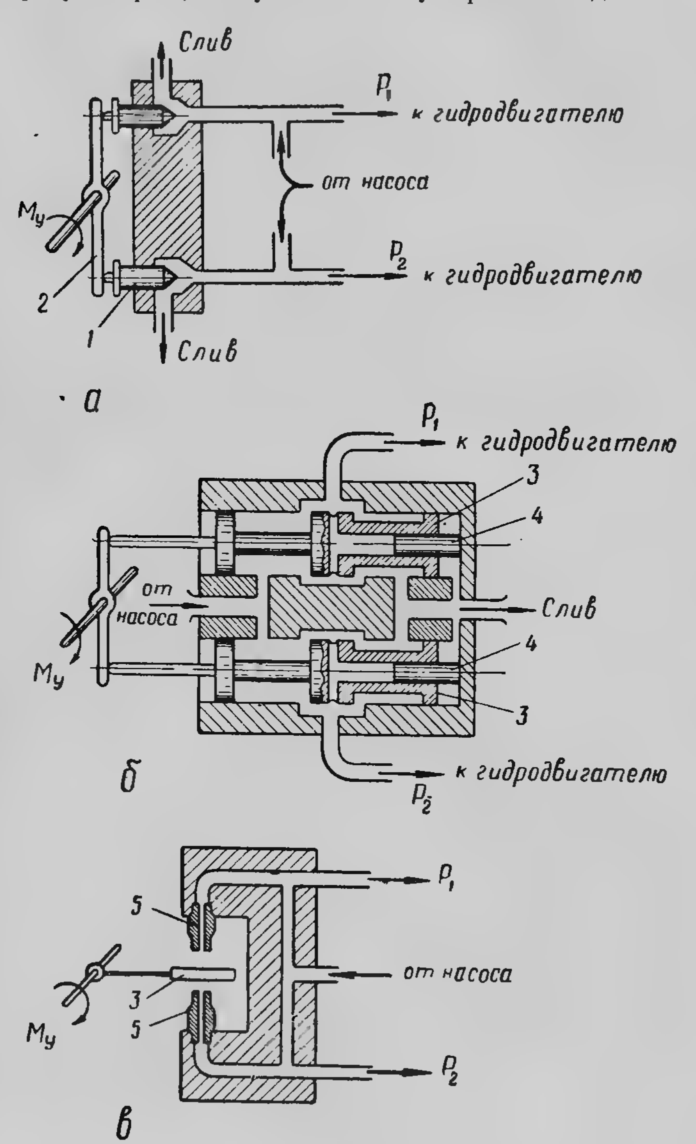


Рис. 3.15. Гидравлические усилители (регуляторы):
а — клапанный регулятор; *б* — золотниковый регулятор; *в* — типа «сопло — заслонка»; *1* — игла клапана; *2* — коромысло; *3* — золотник; *4* — плунжер обратной связи; *5* — сопло

бочих полостях. Трение между золотником и стенками золотникового цилиндра уменьшает чувствительность регулятора. Уменьшение влияния сил трения на перемещение золотника в танковых гидроусилителях достигается непрерывным вращением золотника вокруг его оси.

Регулятор типа «сопло — заслонка» (рис. 3.15, *в*) состоит из заслонки, укрепленной на оси, и двух сопел, управляющих давлением в системе. При отсутствии управляющего сигнала заслонка находится в нейтральном положении и давления P_1 и P_2 равны. При повороте заслонки давление P_1 увеличится, а давление P_2 уменьшится.

Регулятор типа «сопло — заслонка» является наиболее чувствительным элементом гидропривода и применяется в качестве предварительного усилителя. Он отличается высокой чувствительностью, быстродействием и стабильностью характеристик при изменении температуры.

Исполнительные гидравлические двигатели преобразуют энергию жидкости в механическую энергию.

Гидравлические двигатели по характеру движения различаются на двигатели возвратно-поступательного движения (исполнительный цилиндр) и кругового вращения (гидравлический двигатель большого момента).

Гидравлический исполнительный цилиндр служит для создания возвратно-поступательного движения для поворота объекта регулирования на ограниченный угол.

Гидравлический исполнительный цилиндр (рис. 3.16) состоит из корпуса, двух крышек, поршня и штока. Полости цилиндра трубопроводами соединены с насосом.

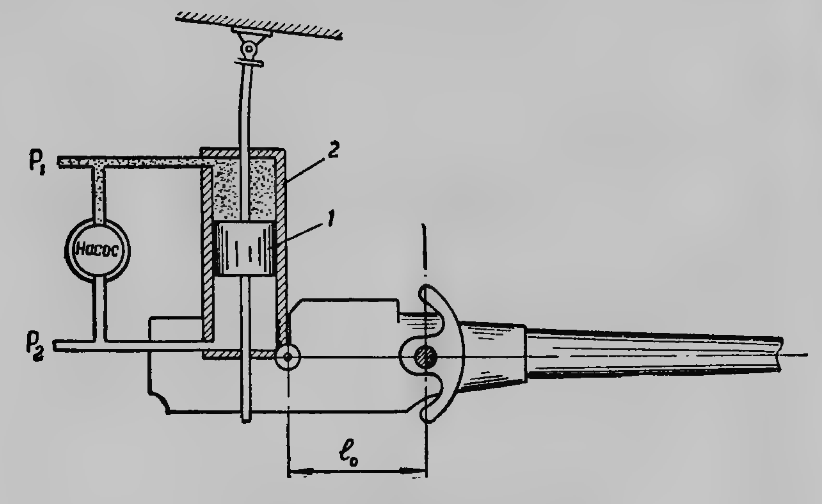


Рис. 3.16. Исполнительный цилиндр
1 — шток с поршнем; *2* — цилиндр

Момент, действующий на поршень, пропорционален разности давления в рабочих полостях.

Если поршень неподвижен, а корпус цилиндра связан с объектом, то момент, развиваемый гидравлическим цилиндром, пропорционален произведению разности давления Δp в полостях, площади поршня S на плечо l_0

$$M = \Delta p S l_0.$$

Исполнительный цилиндр обеспечивает широкий диапазон изменения скорости перемещения объекта, выполняется на рабочее давление до 500 *кг/см²*, является практически безынерционным; при перекрытии рабочих полостей обеспечивает гидравлическое стопорение в любом положении объекта.

Отсутствие редуктора, простота изготовления, малые габариты и вес — основные достоинства, благодаря которым гидравлический исполнительный цилиндр широко применяется для стабилизации орудия в вертикальной плоскости.

Поршневой гидравлический двигатель применяется в приводах объектов регулирования, имеющих неограниченный угол поворота.

На рис. 3.17 показана принципиальная схема радиально-поршневого гидравлического двигателя однократного действия. В обойме *1* (статоре эксцентрично размещен ротор *2* с поршнями *3*. Полости поршней через неподвижные отверстия распределительного вала *4* соединяются с магистралями гидравлического насоса. На поршень действует сила, пропорциональная давлению P_1, создаваемому насосом в магистрали. Сила F_i,

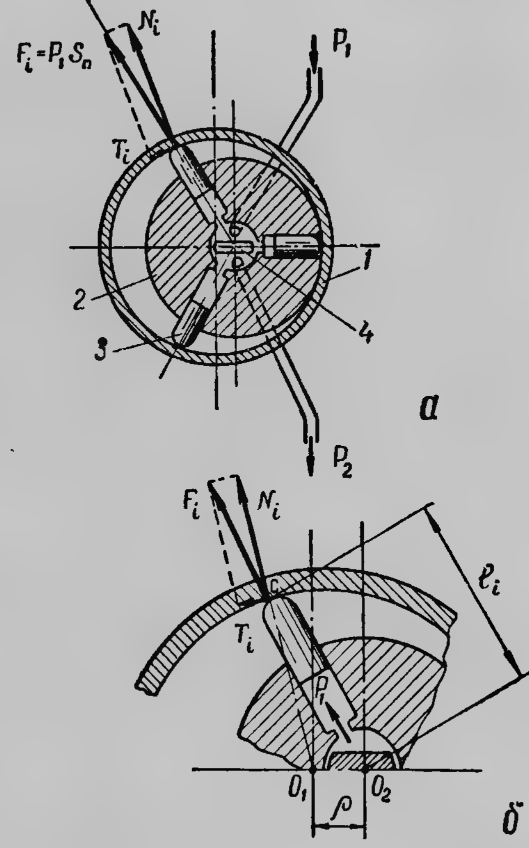


Рис. 3.17. Поршневой гидравлический двигатель:
1 — статор; *2* — ротор; *3* — поршень; *4* — распределительный вал

действующая на поршень, может быть представлена в виде двух составляющих (рис. 3.17, *б*): нормальной (N_i), действующей по радиусу обоймы и прижимающей поршень к стенке корпуса, и тангенциальной (T_i), действующей перпендикулярно к оси поршня. Тангенциальная составляющая на плече l_i создает вращающий момент, под действием которого ротор поворачивается. Момент на валу ротора зависит от разностей давления в магистралях насоса. Если давление P_2 в магистрали станет больше давления P_1, то направление вращения ротора изменит знак.

В том случае, если $P_1 = P_2$, то вращающий момент равен нулю и ротор двигателя остановится.

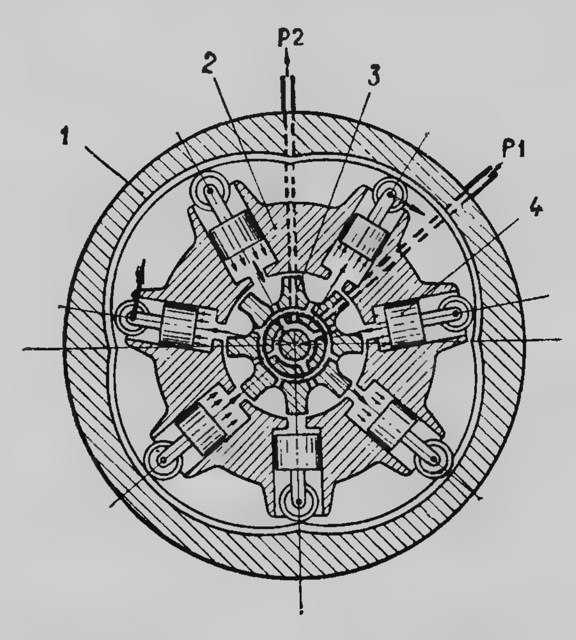


Рис. 3.18. Гидродвигатель большого момента:
1 — статор; *2* — ротор; *3* — распределитель; *4* — поршень

Итак, регулируя величину и знак разности давлений в магистралях насоса, можно в широких пределах регулировать величину и направление вращающего момента, развиваемого гидродвигателем.

Рассмотренный гидродвигатель называется гидродвигателем однократного действия, так как за один оборот ротора его поршень совершает одно возвратно-поступательное движение. Для повышения момента, развиваемого гидродвигателем, увеличивают число поршней и действие их делают многократным. Число поршней при этом для исключения мертвых зон обычно выбирают нечетным (7, 9, 11), а кратность — четной (4, 6).

На рис. 3.18 показана схема гидравлического двигателя четырехкратного действия с семью поршнями. Подобного типа двигатели называются гидравлическими двигателями большого момента (ГБМ). Они позволяют развивать значительный вращающий момент (до 100 *кгм*), получать устойчивое значение минимальной скорости вращения (0,2—0,3 *об/мин*). Кратность регулирования скорости, т. е. отношение максимального значения к минимальному, превышает 1000.

Некоторым недостатком гидродвигателей большого момента является сложность конструкции.

РАЗДЕЛ II

АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ОБЪЕКТОВ БРОНЕТАНКОВОЙ ТЕХНИКИ

Глава 4

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ПРИВОДЫ ВООРУЖЕНИЯ

Автоматизированные приводы вооружения являются составным элементом автоматических систем, предназначенных для стабилизации и наведения орудия или башни.

Особенности вооружения, специфика правил ведения огня из танков и боевых машин предъявляют к автоматизированным приводам систем наведения и стабилизации высокие требования в отношении диапазона скоростей наведения, вида скоростных характеристик, точности регулирования, качества переходных процессов и т. д.

В режиме стабилизации орудия или башни автоматизированный привод обеспечивает отработку рассогласований, обусловленных угловыми колебаниями корпуса и маневром машины во время ее движения. Создаваемый им момент должен быть равен и противоположен по знаку моментам действующих возмущений.

В режиме наведения автоматизированный привод обеспечивает:

— плавное вращение башни или орудия с малыми наводочными скоростями;

— перенос огня с одной цели на другую с максимальной скоростью.

Исполнительный привод для выполнения указанных задач должен развивать необходимую мощность и иметь высокое быстродействие (минимальное время разгона и торможения).

§ 4.1. ТРЕБОВАНИЯ К АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ПРИВОДАМ

1. **Скорость наведения** — минимальная скорость ω_{min} выбирается из условия обеспечения точного наведения на цель, а также из условий обеспечения плавности вращения с минимально возможными скоростями. Целесообразные значения минимальной скорости должны быть в диапазоне

$$\omega_{min} = 0{,}05 - 0{,}1°/сек^{1}$$

[1] Скорости 0,1°/*сек* соответствует скорость вращения минутной стрелки часов — один оборот в час.

как для исполнительного привода башни в горизонтальной плоскости, так и для исполнительного привода орудия в вертикальной плоскости.

Максимальная скорость ω_{max} определяет время, необходимое для производства прицельного выстрела по вновь обнаруженной цели в пределах курсового угла, равного 180°.

С учетом возможностей оптических прицелов, обеспечивающих обнаружение цели при скоростях не более 25°/*сек*, можно считать $\omega_{max\,г} = 24—26°/сек$ для привода башни и $\omega_{max\,в} = 5—7°/сек$ для привода орудия.

Диапазон изменения скорости вращения исполнительного привода оценивается коэффициентом кратности регулирования:

$$k_р = \frac{\omega_{max}}{\omega_{min}}.$$

Для исполнительных приводов башни $k_р = 250—500$, для исполнительных приводов орудия $k_р = 50—150$.

2. **Скоростная характеристика исполнительного привода** — это зависимость угловой скорости наведения от угла поворота пульта управления. Закон изменения скорости наведения имеет важное значение для обеспечения точности наводки на цель и производства первого прицельного выстрела.

Типовые скоростные характеристики исполнительных приводов изображены на рис. 4.1.

Скоростная характеристика привода в горизонтальной плоскости (кривая *1*) должна иметь зону нечувствительности и участки,

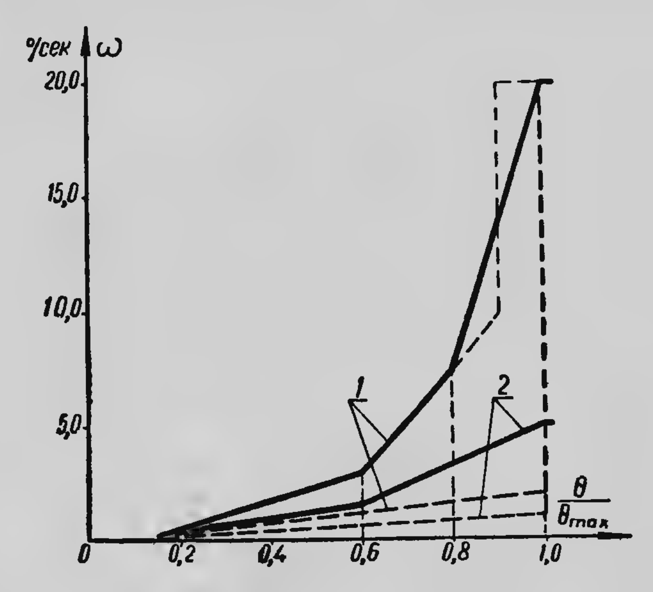


Рис. 4.1. Типовые скоростные характеристики танковых исполнительных приводов

соответствующие плавному наведению, грубому наведению и переносу огня.

Участок плавного наведения обычно составляет 40—50% θ_{max}. Участок плавного наведения должен быть достаточно растянутым, с тем чтобы при повороте рукоятки пульта на этом участке скорость наведения изменялась незначительно. Скоростная характеристика привода в вертикальной плоскости (кривая *2*) вследствие значительно меньшей кратности регулирования имеет только два рабочих участка: участки плавного и участок грубого наведения.

В системах, где требуется более точное наведение орудия, скоростные характеристики привода включают лишь один участок плавного наведения, растянутый по всему диапазону угла поворота пульта (пунктир на рис. 4.1), переход к максимальной скорости осуществляется скачком.

3. **Точность регулирования.** Для обеспечения точного наведения орудия на цель необходимо, чтобы заданная скорость наведения оставалась неизменной при воздействии на привод различных возмущений, например, таких, как изменение момента сопротивления вращению, обусловленного креном танка, изменение напряжения бортовой сети и др.

Повышение точности регулирования в танковых приводах наведения достигается применением автоматизированных приводов, обладающих характеристиками, обеспечивающими независимость скорости вращения исполнительного двигателя привода от изменения внешних моментов и колебаний напряжения бортовой сети, т. е. обладающих жесткими механическими характеристиками $n=f(M)$.

4. **Динамические показатели привода.** Приводы автоматических систем наведения работают главным образом в переходных режимах. В связи с этим их динамические показатели: время регулирования, время отработки рассогласования, величина перерегулирования, колебательность и пр. — должны быть такими, чтобы обеспечивалось высокое быстродействие привода, т. е. быстрый разгон, переход с одной скорости на другую и быстрое торможение башни или орудия.

Чем быстрее протекают переходные процессы, тем быстрее и точнее можно навести орудие на цель и тем выше будет практическая скорострельность. Особенно необходимо быстрое торможение при остановке башни, вращающейся с максимальной скоростью. В противном случае башня вместе с пушкой и прицелом, вращаясь по инерции, будет проходить заданное положение, что может привести к потери цели.

Практически установлено, что для обеспечения указанных требований время разгона исполнительного двигателя привода до максимальной скорости не должно превышать 1,5—2,0 *сек*, а время торможения от максимальной скорости до полной остановки 0,4—0,5 *сек*. При этом переходный процесс может быть апериодическим (с «доползанием») или колебательным. С точки зрения быстродействия привода наиболее желательным является затухающий колебательный процесс с одним — двумя переходами через установившееся значение.

5. **Удобство и легкость управления.** Для того чтобы исключить возможность быстрого утомления наводчика при стрельбе, управление приводом наведения должно быть удобным и легким.

Усилие на рукоятках пульта, необходимое для управления приводом, должно быть в пределах 1—3 *кгс*. При переходе рукоятки через нейтральное положение сопротивление фиксатора нулевого положения не должно заметно ощущаться, и в то же время нейтральное положение должно четко фиксироваться.

Управление наведением орудия в вертикальной и горизонтальной плоскости должно осуществляться от одного общего, удобно расположенного пульта.

Схема управления должна обеспечивать работу привода не только от наводчика, но и от командира машины (режим целеуказания). При этом командир должен иметь возможность взять управление приводом на себя в любое время. Наводчик же на этот период лишается возможности управления. Передача управления наводчику осуществляется автоматически по окончании целеуказания командиром.

6. **Возможность применения привода при неработающем двигателе.** Это требование весьма важно с тактической точки зрения, так как обеспечивает повышение практической скорострельности при стрельбе с места из засад и в обороне или при аварии двигателя машины. Технически осуществить это требование весьма трудно, потому что привод при неработающем двигателе питается от аккумуляторных батарей, запас энергии которых ограничен. Для уменьшения расходуемой энергии необходимо выбирать такую схему регулирования, при которой потери энергии в приводе были бы минимальными.

7. **Габариты и вес привода.** Габариты и вес привода должны быть минимальными, с тем чтобы обеспечить возможность размещения агрегатов привода в боевом отделении при сохранении достаточного объема для удобного размещения экипажа, боекомплекта и другого необходимого оборудования.

8. **Эксплуатационные свойства.** Привод наведения должен быть надежным в работе и простым в обслуживании. Отдельные агрегаты и машины привода должны допускать их замену без специальных регулировок.

§ 4.2. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ТАНКОВЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПО СХЕМЕ Г—Д С ЭМУ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ УСИЛИТЕЛЕМ

Для выполнения требований по жесткости характеристик и быстродействию, предъявляемых к танковым автоматизированным приводам, кроме введения жесткой обратной отрицательной связи по скорости вращения целесообразно в схему электропривода

включать предварительный усилитель. Обычно предварительный усилитель включается на вход ЭМУ, что позволяет использовать для усиления управляющего сигнала усилители небольшой мощности, в которых нетрудно обеспечить большие коэффициенты усиления и высокое быстродействие.

Рассмотрим типовую электрическую схему электропривода танковых автоматических систем с предварительным усилителем.

Электропривод с релейным усилителем (рис. 4.2). В качестве релейного усилителя используется трехпозиционное поляризованное реле РПБ-5. В схеме реле имеет три обмотки. Обмотка О1 является основной и служит для управления приводом. Ее начало *Н*

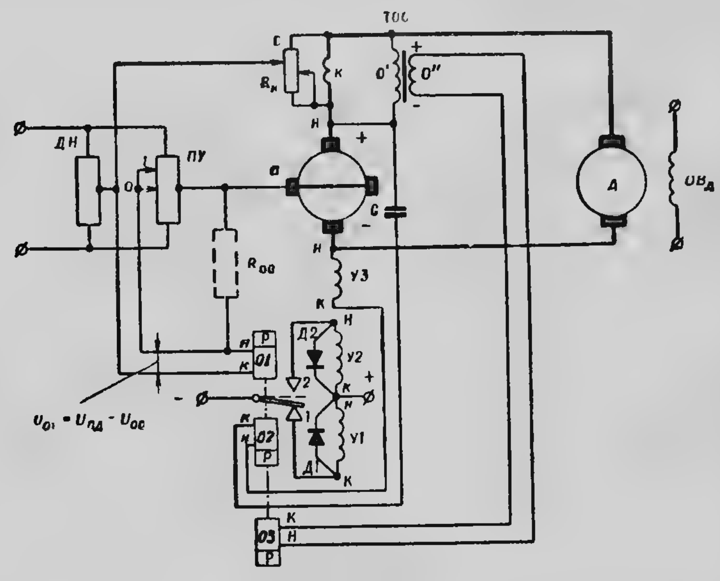


Рис. 4.2. Схема электропривода с предварительным релейным усилителем

подключено к движку потенциометра управления ПУ, а конец *К* — к средней точке делителя напряжения ДН. На эту же обмотку подается сигнал главной обратной связи — обратной отрицательной связи по скорости вращения исполнительного электродвигателя.

Обмотки О2 и О3 являются вспомогательными. С их помощью в схему привода вводятся дополнительные обратные связи: гибкая обратная связь по напряжению и обратная связь по току управления ЭМУ (обмотка О2), а также гибкая обратная связь по току якоря (обмотка О3).

Электромашинный усилитель также имеет три обмотки управления, из которых две (У1 и У2) служат для возбуждения ЭМУ с определенной полярностью, а третья (У3) — для введения гибкой обратной связи по напряжению и обратной связи по току управления ЭМУ.

Обмотки У1 и У2 соединены между собой (начало *Н* обмотки У1 — с концом *К* обмотки У2), а их общая точка подключена к «плюсу» источника питания. Конец *К* обмотки У1 присоединяется к неподвижному контакту 1, а начало *Н* обмотки У2 — к неподвижному контакту 2 поляризованного реле. Якорек реле соединен с «минусом» источника питания.

Такая схема включения обмоток обеспечивает изменение полярности электромашинного усилителя. Действительно, при замыкании контакта 1 к источнику питания подключается обмотка У1. Ток в обмотке направлен от *Н* к *К*, обеспечивая возбуждение ЭМУ с полярностью, указанной на рис. 4.2. Если же якорек реле замкнет контакт 2, то к источнику питания будет подключена обмотка У2, ток в которой будет направлен от *К* к *Н*. Это приведет к изменению направления потока управления $\Phi_у$, а следовательно, и к изменению полярности напряжения ЭМУ на противоположное: плюсовой будет в этом случае нижняя щетка, а минусовой — верхняя.

Изменением полярности ЭМУ обеспечивается изменение направления вращения — реверс двигателя. Применение в качестве предварительного усилителя поляризованного реле, отличающегося высокой чувствительностью и быстродействием (реле срабатывает при напряжении 0,3 *в* на обмотке О1; время срабатывания реле составляет 3—5 *мсек*), обеспечивает электроприводу наведения более высокие показатели.

Рассмотрим работу привода более подробно.

Предупреждение самохода. При нейтральном положении пульта движок потенциометра управления непосредственно связан с поперечными щетками ЭМУ. Благодаря этому на обмотку О1 реле подается примерно половина напряжения электромашинного усилителя по цепи: щетка *Н* ЭМУ, сопротивление регулировки степени компенсации $R_к$, движок *С*, средняя точка делителя ДН, обмотка О1, движок потенциометра ПУ, щетка *а*. А так как реле срабатывает при напряжении 0,3 *в*, то уже при величине э. д. с. от остаточного намагничивания несколько более 0,6 *в* (напряжение $U_{ос}$ равно примерно половине напряжения ЭМУ) происходит замыкание контактов реле. К источнику питания на полное его напряжение подключается обмотка управления ЭМУ, обеспечивающая быстрое размагничивание потока $\Phi_{ост}$. При уменьшении $\Phi_{ост}$ до величины, при которой напряжение ЭМУ становится менее 0,6 *в*, происходит отпускание реле, его контакты размыкаются, отключая обмотку управления от источника.

Возможность дальнейшего возбуждения ЭМУ исключается, причем за счет высокой чувствительности реле статор ЭМУ размагничивается настолько быстро, что двигатель не успевает начать вращение.

Разгон исполнительного двигателя. При перемещении движка потенциометра управления из средней точки в положение 1 (рис. 4.2) к обмотке О1 поляризованного реле прикладывается напряжение $U_{о1} = U_{ПД}$, под действием которого про-

исходит замыкание контактов 1 реле. Обмотка управления У1 ЭМУ присоединяется к источнику питания, и в ней возникает ток, проходящий от *Н* к *К*; его величина быстро нарастает, стремясь к максимальному значению. ЭМУ возбуждается и имеет полярность, показанную на рис. 4.2. Так как обмотка возбуждения исполнительного электродвигателя подключена к источнику тока, то одновременно происходит форсированный разгон электродвигателя. Разгон продолжается до тех пор, пока скорость не достигнет заданного значения. К этому времени напряжение обратной связи возрастает настолько, что результирующее напряжение на обмотке О1 реле, равное разности $U_{ПД} - U_{ОС}$, становится менее 0,3 *в*. Контакты реле размыкаются, отключая обмотку У1 ЭМУ от источника питания.

Таким образом, во время разгона исполнительного электродвигателя контакты реле постоянно замкнуты и к обмотке управления ЭМУ приложено полное напряжение источника питания. Поскольку величина этого напряжения в начале процесса разгона в несколько раз превышает величину напряжения, необходимую для обеспечения заданной скорости вращения исполнительного электродвигателя, контакты реле остаются длительное время замкнутыми, в результате чего процесс разгона осуществляется с форсировкой.

Установившийся режим. К концу разгона двигателя напряжение обратной связи по скорости $U_{ОС}$ постепенно увеличивается и напряжение на обмотке О1 реле становится менее 0,3 *в*. Уменьшение напряжения на обмотке О1 реле вызывает отпускание реле, в результате чего его контакты 1 размыкаются. Ток в обмотке управления и напряжение ЭМУ начинают уменьшаться. Нарастание скорости вращения двигателя также прекращается, а спустя некоторое время и скорость начинает уменьшаться.

При уменьшении скорости вращения двигателя уменьшается напряжение обратной связи $U_{ОС}$, в результате чего напряжение на обмотке О1 вновь возрастает. При увеличении напряжения $U_{о1}$ до 0,3 *в* реле срабатывает, замыкая те же контакты 1, что и при разгоне двигателя.

Вновь происходит увеличение тока управления и напряжения ЭМУ, а значит, и скорости вращения электродвигателя. Нарастание скорости продолжается до тех пор, пока напряжение на обмотке О1 реле снова не станет менее 0,3 *в*, т. е. пока реле не разомкнет свои контакты.

Далее процесс замыкания и размыкания контактов реле непрерывно повторяется, т. е. устанавливается вибрационный режим работы релейного усилителя, во время которого якорек реле непрерывно колеблется (вибрирует), замыкая и размыкая одни и те же контакты реле (в рассматриваемом случае контакты 1).

Вибрационный режим, обусловленный наличием обратной связи по скорости вращения исполнительного электродвигателя, обеспечивает плавное изменение скорости вращения исполнительного двигателя.

Скорость вращения исполнительного электродвигателя в установившемся режиме, строго говоря, не остается постоянной, а непрерывно изменяется относительно некоторого среднего значения. Амплитуда отклонения скорости зависит от частоты вибрации якорька, уменьшаясь при увеличении последней.

При увеличении отклонения движка потенциометра управления относительное время замкнутого состояния контактов 1 и среднее значение тока в обмотке управления У1 ЭМУ увеличивается, обеспечивая повышение напряжения ЭМУ, а следовательно, и скорости вращения исполнительного электродвигателя.

При отклонении движка потенциометра в другую сторону замыкаются контакты 2 реле. Это вызывает вращение исполнительного электродвигателя в противоположную сторону. В установившемся режиме якорек вибрирует, непрерывно замыкая и размыкая контакты 2. Контакты 1 в это время разомкнуты.

Итак, по мере увеличения управляющего напряжения пропорционально повышается скорость вращения исполнительного двигателя.

Для уменьшения искрения на контактах реле параллельно обмоткам управления ЭМУ включены полупроводниковые выпрямители — диоды Д1 и Д2.

Торможение электродвигателя. При возвращении пульта управления в нейтральное положение движок потенциометра управления перемещается в среднюю точку. Напряжение $U_{ПД}$ снимаемое с потенциометра, уменьшается до нуля. Поскольку якорь исполнительного электродвигателя некоторое время продолжает вращаться по инерции, к обмотке О1 реле будет приложено напряжение обратной связи $U_{ОС}$. Под действием этого напряжения ток в обмотке О1 реле меняет свое направление. Якорек реле перебрасывается к противоположному контакту 2, замыкает его и остается в таком положении до полной остановки исполнительного электродвигателя. При замыкании контакта 2 обмотка У1 ЭМУ отключается от бортовой сети, а обмотка У2 подключается на полное напряжение. Это обеспечивает быстрое развозбуждение ЭМУ, а при торможении со средних или высоких скоростей даже возбуждение его с противоположной полярностью. Эффективность процесса электродинамического торможения исполнительного электродвигателя значительно возрастает. Действительно, в схеме с релейным усилителем ток в цепи якорей определяется не только обратной э. д. с. двигателя $E_д$, но и э. д. с. ЭМУ:

$$I_т = -\frac{E_d + E_д}{R_\Sigma},$$

а поэтому его величина в процессе торможения значительно больше, чем при обычном электродинамическом торможении. В результате этого электродвигатель тормозится весьма интенсивно, а время торможения значительно уменьшается.

Увеличение частоты колебаний якорька поляризованного реле. В электроприводе с релейным усилителем скорость вращения двигателя в установившемся режиме не является постоянной. Она непрерывно изменяется около некоторого своего среднего значения, определяемого положением движка на потенциометре управления. Частота и амплитуда пульсации скорости вращения двигателя зависит в первую очередь от частоты колебаний якорька реле.

В рассмотренной схеме якорек вибрирует за счет отрицательной обратной связи по скорости вращения исполнительного двигателя в схеме Г — Д с ЭМУ и релейным усилителем. Так как скорость вращения двигателя быстро изменяться не может, то частота возникающих при этом автоколебаний очень мала (3—5 $^1/сек$). При этом амплитуда колебаний скорости электродвигателя относительно среднего значения весьма значительна, что особенно заметно при работе привода на малых скоростях. Для устранения этого недостатка необходимо повысить частоту вибрации якорька реле.

Низкая частота колебаний в схеме с одной лишь обратной связью по скорости обусловлена большой инерционностью исполнительного двигателя. В результате этого сигнал обратной связи действует с большим запаздыванием: контакты реле размыкаются только после некоторого увеличения скорости исполнительного электродвигателя, а их замыкание — после ее уменьшения.

Частота колебаний якорька может быть увеличена введением обратной связи по какой-либо промежуточной величине, которая изменяется раньше, чем изменяется скорость вращения исполнительного электродвигателя, например по току управления ЭМУ.

Для осуществления обратной связи по току управления используется обмотка У3 электромашинного усилителя, индуктивно связанная с его обмотками У1 и У2, и обмотка О2 реле.

Рассмотрим работу привода в установившемся режиме с учетом действия обратной связи по току управления.

В установившемся режиме конденсатор *С* заряжен и напряжение на его обкладках равно по величине и противоположно по знаку напряжению ЭМУ.

Якорек реле в установившемся режиме вибрирует, замыкая и размыкая, предположим, контакты 1.

При замыкании контактов (рис. 4.3, *а*) ток в обмотке управления У1, а следовательно, и магнитный поток управления ЭМУ увеличиваются. Вследствие увеличения магнитного потока в обмотке управления У3 индуктируется э. д. с. взаимоиндукции $e_{мз}$, направленная от *К* к *Н*.

Действуя в замкнутом контуре: обмотка У3 — якорь ЭМУ — конденсатор *С* — обмотка О2, эта э. д. с. создает ток i_2 в обмотке О2 реле, направленный от *К* к *Н*. В результате этого потоки, создаваемые обмотками управления О1 и О2 реле, действуют встречно, что способствует быстрому размыканию контактов 1 реле. Контакты 1 размыкаются значительно раньше, чем в схеме с одной обратной связью по скорости.

После размыкания контактов 1 (рис. 4.3, *б*) ток в обмотке У1 и поток управления ЭМУ уменьшаются. Электродвижущая сила взаимоиндукции в обмотке У3 изменяет свой знак на противоположный: теперь она направлена от *Н* к *К*. Ток в обмотке О2 реле также изменяет направление на противоположное. Поток, создаваемый обмоткой О2 реле, действует теперь согласно с потоком обмотки О1. В результате контакты 1 реле быстро замыкаются.

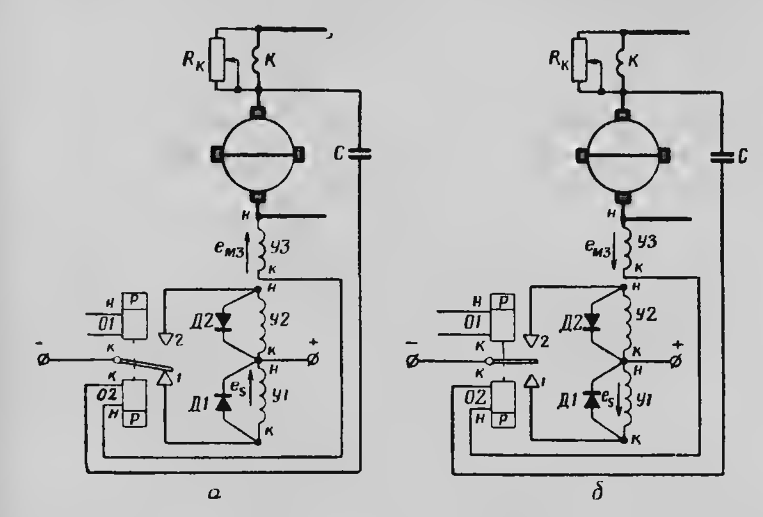


Рис. 4.3. Ускорение вибрации якорька поляризованного реле с помощью обратной связи по току управления:
а — при замыкании контакта 1; *б* — при размыкании контакта 1

При этом размыкание и замыкание контактов реле (колебания якорька) будут обусловлены не только изменением скорости вращения исполнительного двигателя, но и изменениями тока управления ЭМУ. Ввиду того что ток в обмотке управления ЭМУ изменяется значительно раньше соответствующего изменения скорости вращения исполнительного электродвигателя, частота колебаний якорька значительно возрастает, достигая 100—120 $^1/сек$ и выше. При такой частоте вибраций якорька реле колебания скорости вращения электродвигателя практически отсутствуют.

Введение в схему электропривода предварительного усилителя может вызвать в схеме устойчивые колебания скорости вращения исполнительного двигателя, из-за которых управление электроприводом становится невозможным.

Для гашения колебаний в схеме используется гибкая обратная связь по напряжению ЭМУ и гибкая обратная связь по току якоря.

Для получения сигнала гибкой обратной связи по напряжению ЭМУ в электроприводе используется обмотка управления У3 и конденсатор *С*.

Рассмотрим действие этой гибкой обратной связи. При постоянстве напряжения электромашинного усилителя напряжение на об-

мотке О2 реле равно нулю, так как конденсатор *С* заряжен и его напряжение равно напряжению генератора. Тока в цепи обмотки реле нет.

При разгоне двигателя, когда происходит увеличение напряжения ЭМУ, напряжение на обкладках конденсатора *С* несколько меньше напряжения ЭМУ. Происходит зарядка конденсатора, и в цепи обратной связи возникает ток, проходящий (при указанном на рис. 4.2 положении движка) по обмоткам О2 и УЗ в направлении от *К* к *Н*. Магнитный поток, создаваемый током, проходящим по обмотке УЗ, ослабляет основной поток управления $\Phi_у$, в результате чего скорость нарастания э. д. с. ЭМУ несколько замедляется.

Поток, создаваемый обмоткой О2 реле, действует встречно по отношению к потоку обмотки О1, поэтому время, в течение которого контакты реле при разгоне остаются замкнутыми, также уменьшается. Это приводит к некоторому уменьшению форсировки переходного процесса, в связи с чем величина перерегулирования напряжения ЭМУ, имеющего место при разгоне, уменьшается. Соответственно меньшей будет и величина перерегулирования скорости электродвигателя.

При уменьшении напряжения ЭМУ конденсатор начинает разряжаться. Ток в обмотках О2 и УЗ меняет свое направление на противоположное. При этом ток в обмотке УЗ обеспечивает усиление потока управления $\Phi_у$, а ток в обмотке О2 реле ускоряет процесс замыкания контактов 1 реле. Все это способствует уменьшению величины отклонения напряжения ЭМУ от заданного значения.

Таким образом, при введении гибкой отрицательной обратной связи по напряжению процесс нарастания напряжения ЭМУ, а следовательно, и процесс нарастания скорости исполнительного двигателя становятся менее колебательными. При надлежащем выборе параметров обратной связи (емкости конденсатора *С*) время регулирования при наведении значительно уменьшается.

В схеме, изображенной на рис. 4.2, гибкая обратная связь по напряжению ЭМУ действует в том же контуре и воздействует на ту же обмотку О2 реле, что и обратная связь по току управления. Эти связи действуют независимо друг от друга. Гибкая обратная связь по напряжению действует только во время переходных процессов (разгон, торможение, переход на другую скорость), а обратная связь по току управления — в установившемся режиме.

Для обеспечения высокого качества регулирования не только при наведении, но и при воздействии на привод внешних возмущений, т. е. в режиме стабилизации вводится гибкая положительная обратная связь по току якоря (рис. 4.2).

Сигнал обратной связи по току якоря создается с помощью трансформатора обратной связи ТОС и подается на обмотку О3 реле.

Первичная обмотка *О'* трансформатора обратной связи ТОС подключена параллельно компенсационной обмотке ЭМУ. Вторичная обмотка *О''* соединена с обмоткой О3 реле.

При всех изменениях тока якоря происходит изменение напряжения на обмотке *О'*, а следовательно, и изменение тока в этой обмотке и магнитного потока трансформатора. В результате во вторичной обмотке *О''* индуктируется э. д. с., величина которой пропорциональна скорости изменения тока якоря.

Обмотка О3 реле подключена к вторичной обмотке *О''* трансформатора так, что броски тока в цепи якорей, обусловленные колебаниями нагрузки на валу двигателя, уменьшаются, т. е. обратная связь является положительной.

Действительно, если двигатель вращается с какой-то установившейся скоростью, а нагрузка резко изменяется, например увеличивается, то ток в цепи якорей также увеличивается. При этом в обмотке *О''* трансформатора ТОС индуктируется э. д. с., полярность которой обозначена на рис. 4.2. Под действием этой э. д. с. в обмотке О3 реле проходит ток от *Н* к *К*, т. е. обмотка О3 действует согласно с основной обмоткой О1 реле. Якорек реле замыкает контакты 1, обеспечивая некоторое увеличение потока управления и напряжения ЭМУ. В результате увеличения напряжения ЭМУ увеличивается ток якоря двигателя и развиваемый им вращающий момент. Повышение вращающего момента двигателя приводит к уменьшению изменения скорости вращения при внезапном увеличении нагрузки.

Если нагрузка на исполнительный двигатель уменьшается, то происходит уменьшение тока в цепи якорей. При этом полярность э. д. с., индуктируемой в обмотке *О* трансформатора обратной связи, изменяется. Меняется на обратное направление тока в обмотке О3 реле и э. д. с. действует встречно с обмоткой О1, обеспечивая уменьшение потока управления и напряжения ЭМУ. Уменьшение напряжения ЭМУ приводит к уменьшению тока якоря и вращающего момента электродвигателя, в результате чего изменение скорости также уменьшается.

Таким образом, введение гибкой обратной связи по току якоря обеспечивает уменьшение колебаний скорости исполнительного электродвигателя при изменении нагрузки на его валу.

Применение релейного усилителя с обратной связью по току управления ЭМУ, а также введение гибких обратных связей по напряжению ЭМУ и по току якоря позволяют обеспечить электроприводу наведения необходимые показатели качества, и в первую очередь высокое быстродействие и высокую точность регулирования.

§ 4.3. ЭЛЕКТРОМАШИННЫЙ ПРИВОД С ИМПУЛЬСНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

В электроприводе импульсное регулирование скорости применяется для двигателей с последовательным и параллельным возбуждением. Подобные схемы регулирования скорости вращения в

танковых автоматизированных приводах впервые были предложены доктором технических наук, профессором Фесенко М. Н.

На рис. 4.4 показана схема импульсного регулирования скорости вращения электродвигателя последовательного возбуждения.

Электродвигатель последовательного возбуждения с двумя симметричными обмотками возбуждения ОВ1 и ОВ2 (две обмотки возбуждения необходимы для обеспечения реверса двигателя) вклю-

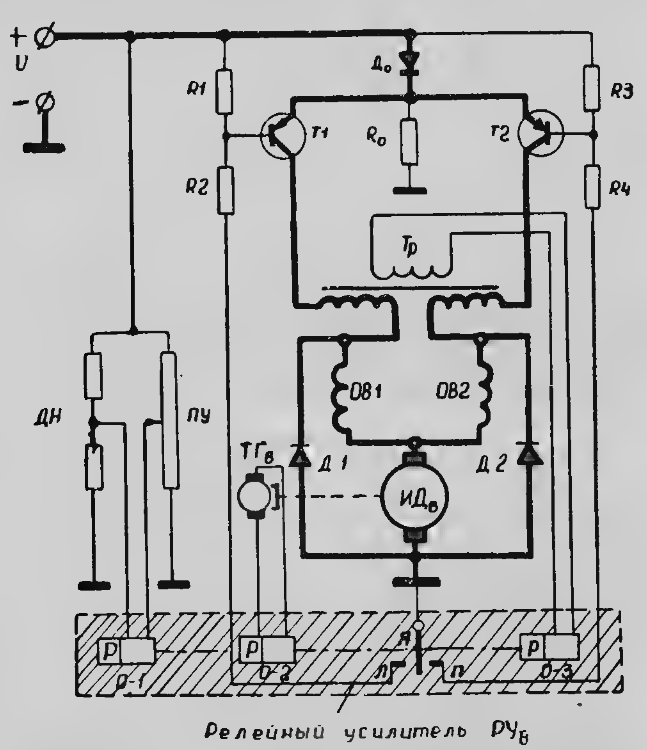


Рис. 4.4. Схема импульсного регулирования скорости вращения исполнительного двигателя последовательного возбуждения

чен через двуплечий усилитель мощности на транзисторах, выполняющий функции импульсного элемента.

Управление импульсным элементом осуществляется с помощью релейного усилителя, обмотка управления О-1 которого включена в схему потенциометра с делителем напряжения.

В цепи коллектора транзисторов Т1 и Т2 включены обмотки возбуждения и якорь исполнительного двигателя. Для уменьшения э. д. с. самоиндукции, возникающей в обмотке возбуждения и якоре электродвигателя при переключении транзисторов, параллельно электродвигателю включены диоды Д1 и Д2. Для надежного запирания транзисторов через диод $Д_0$ и сопротивление R_0 подается

отрицательное смещение; при включении тока падение напряжения на диоде $Д_0$ создает отрицательный потенциал на эмиттере транзисторов и тем самым обеспечивает состояние отсечки транзисторов.

Таким образом, в исходном положении контакты релейного усилителя разомкнуты, транзисторы Т1 и Т2 находятся в состоянии отсечки и якорь двигателя неподвижен. Режим переключения осуществляется с помощью релейного усилителя. При смещении движка потенциометра управления на обмотку управления *О*-1 релейного усилителя подается напряжение и контакты реле (например, *Л*) замыкаются. Ток проходит через сопротивления R1, R2 и замкнутые контакты *Л* релейного усилителя. На сопротивлении R1 создается падение напряжения, отпирающее транзистор Т1. Транзистор переходит в состояние насыщения, и на зажимах двигателя появляется напряжение — двигатель начинает разгоняться. Одновременно появляется сигнал обратной связи по скорости вращения. Обратная связь по скорости вращения исполнительного двигателя осуществляется с помощью тахогенератора обратной связи, соединенного с якорем исполнительного двигателя.

С помощью обмотки *О*-2 релейного усилителя, к которой приложено напряжение обратной связи, действующей встречно обмотке *О*-1, создается вибрационный режим работы усилителя.

Изменяя величину напряжения, приложенного к обмотке *О*-1, изменяем частоту вибрации контактов релейного усилителя. При этом изменяется скважность импульсов напряжения, а следовательно, среднее значение напряжения, подводимого к якорю электродвигателя.

При перемещении движка потенциометра управления от нейтрального положения увеличивается относительное время замкнутого состояния контактов релейного усилителя, так как для того чтобы разомкнуть контакты, потребуется большее значение напряжения обратной связи.

Увеличение относительного времени замкнутого состояния контактов релейного усилителя увеличивает время открытого состояния транзистора Т1, скважность импульсов увеличивается, следовательно, увеличивается скорость вращения исполнительного двигателя.

Для увеличения частоты вибраций якорька релейного усилителя, т. е. для уменьшения пульсации напряжения и скорости вращения двигателя, применяется гибкая обратная связь по току якоря, для этого обмотка *О*-3 включается на зажимы вторичной обмотки трансформатора Тр.

При дальнейшем перемещении движка контакты релейного усилителя замкнутся, транзистор Т1 будет полностью открыт и скорость вращения двигателя достигнет максимальной величины, определяемой напряжением бортовой сети.

При смещении движка потенциометра управления в исходное положение напряжение, приложенное к обмотке *О*-1, будет равно нулю, но при этом продолжает действовать напряжение обратной связи, так как двигатель продолжает вращаться по инерции. Вслед-

ствие этого замыкаются контакты П и происходит интенсивное торможение якоря двигателя:

— электродинамическое через шунтирующий диод Д1;

— противовключением через открывающийся транзистор Т2.

В этот момент включается вторая обмотка возбуждения, предназначенная для реверса двигателя.

Реверс исполнительного двигателя осуществляется перемещением движка потенциометра управления вниз от исходного положения. При этом весь процесс регулирования скорости повторяется, только через транзистор Т2 будет включена обмотка возбуждения ОВ2.

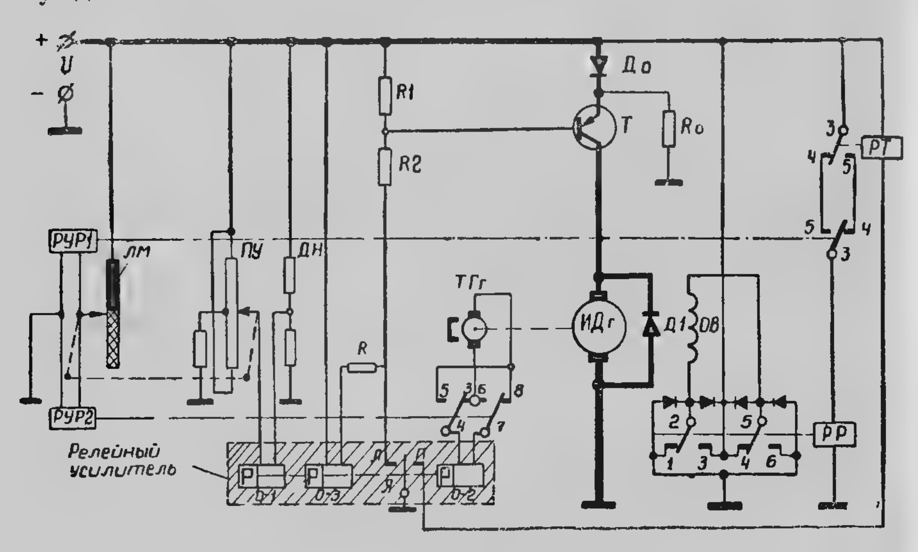


Рис. 4.5. Схема импульсного регулирования скорости исполнительного двигателя параллельного возбуждения

Аналогичные схемы импульсного регулирования скорости вращения могут быть выполнены для двигателей с параллельным возбуждением. При этом реверс осуществляется переключением обмотки возбуждения, а якорь двигателя через транзистор подключается к источнику тока (рис. 4.5).

Переключение транзистора из состояния отсечки в режим насыщения производится с помощью релейного усилителя, обмотка *О*-1 которого включена в схему потенциометра с делителем напряжения. Особенностью схемы является то, что оба плеча потенциометра присоединены к «плюсу» бортовой сети, а средняя точка через сопротивление — к «минусу» сети. Этим достигается получение однополярного сигнала управления, снимаемого с потенциометра, т. е. при перемещении движка потенциометра *П* в любую сторону направление тока в обмотке управления *О*-1 не изменяется.

В исходном положении движка потенциометра управления контакты релейного усилителя разомкнуты и якорь двигателя отключен от сети, так как транзистор находится в состоянии отсечки запирающим напряжением цепи диода $Д_0 — R_0$. Обмотка возбуждения двигателя подключена на полное напряжение бортовой сети через контакты реле реверса *РР*.

При смещении движка потенциометра (вниз по схеме) на обмотку *О*-1 релейного усилителя подается напряжение и контакты *Л* реле замыкаются. Транзистор открывается, а якорь исполнительного двигателя подключается к бортовой сети и начинает разгоняться. По мере увеличения скорости вращения повышается напряжение тахогенератора обратной связи, которое приложено к обмотке *О*-2 релейного усилителя, благодаря чему создается вибрационный режим работы его контактов.

Перемещением движка изменяется частота вибрации контактов релейного усилителя и тем самым изменяется среднее значение напряжения, подводимого к якорю электродвигателя, а следовательно, и скорость его вращения.

Для увеличения частоты переключения транзистора применяется обмотка *О*-3 релейного усилителя. При замыкании якоря с контактом *Л* обмотка *О*-3 подключается к бортовой сети и действует встречно по отношению к обмотке *О*-1, сокращая время замкнутого состояния контактов.

При смещении движка к нейтральному положению за счет действия обратной связи (обмотка *О*-2) якорь замыкается с контактом П. При этом транзистор переходит в состояние отсечки и якорь двигателя отключается от бортовой сети. Через контакт П срабатывает реле торможения *РТ* и своими контактами 3—5 включит реле *РР* реверсирования. Ток в обмотке возбуждения *ОВ* изменит направление.

Якорь двигателя, вращаясь по инерции, переходит в режим электродинамического торможения (цепь якоря замыкается через диод), и скорость вращения быстро снижается до значения, соответствующего новому положению движка потенциометра.

При повороте движков управления в противоположную сторону от нейтрального положения (вверх по схеме рис. 4.5) осуществляется реверсирование *ИД* — движок контактной ламели *ЛМ* включает два реле управления реверсированием РУР1 и РУР2. При срабатывании реле РУР1 срабатывает реле реверсирования РР, изменяющее направление тока в обмотке возбуждения *ОВ*, а срабатывание реле РУР2 сохраняет действие отрицательной обратной связи неизменной, несмотря на изменение направления вращения и полярности тахогенератора. В остальном работа электропривода не отличается от описанной выше.

Система импульсного регулирования скорости по сравнению с системами регулирования по схеме Г — Д значительно проще, имеет лучшие динамические качества, больший к. п. д. и меньший вес.

Глава 5

СТАБИЛИЗАТОРЫ ТАНКОВОГО ВООРУЖЕНИЯ (СТВ)

§ 5.1. ОСОБЕННОСТИ СТРЕЛЬБЫ ИЗ ТАНКОВ С ХОДУ

Высокоманевренный характер современного боя, увеличение числа целей, которые должны поражать танки своим огнем, насыщенность боевых порядков противника разнообразными противотанковыми средствами, в том числе ПТУРС — все это вызывает необходимость повышения скорости движения танков на поле боя, непрерывного их маневрирования. Любые остановки танка, даже остановки для производства прицельного выстрела, снижают темп атаки и увеличивают вероятность поражения танка огнем противника. Число остановок танка на поле боя и их продолжительность должны быть сведены до минимума. Поэтому в современном бою основным способом ведения огня из танка является огонь с ходу.

Огонь из танка должен быть метким, а темп стрельбы высоким. Однако при стрельбе с ходу вследствие колебаний корпуса танка меткость и темп стрельбы резко снижаются. Это объясняется увеличением рассеивания снарядов и ухудшением условий действия экипажа при вооружении.

Колебания корпуса танка носят случайный характер и при его движении практически никогда не затухают. Амплитуда угловых колебаний и их частота достаточно велики. Это приводит к значительным перемещениям прицельной марки относительно цели и не позволяет наводчику удерживать ее на цели даже с помощью самых совершенных приводов наведения.

Наибольшее влияние на меткость стрельбы оказывают угловые колебания танка в продольной вертикальной плоскости, изменяющие угол возвышения орудия, и угловые колебания в горизонтальной плоскости, изменяющие угол горизонтальной наводки (рис. 5.1).

Угловые колебания обусловливают значительное увеличение рассеивания снарядов и пуль.

Поперечные угловые колебания, вызывающие наклон цапф («завал») орудия, оказывают меньшее влияние, возрастающее, однако, с увеличением дальности стрельбы.

Рассеивание снарядов обусловлено в первую очередь **увеличением ошибок наводки**, которые возрастают при стрельбе с ходу в

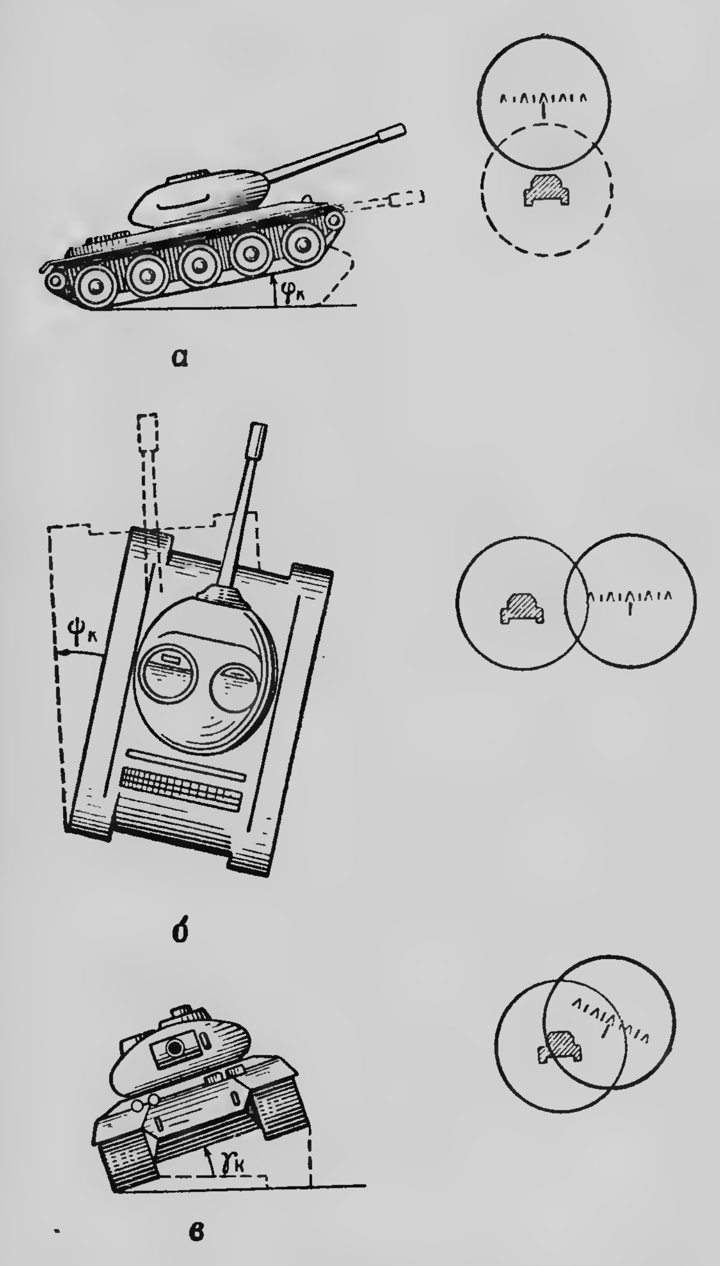


Рис. 5.1. Угловые колебания корпуса танка и их влияние на стрельбу:

а — в продольной вертикальной плоскости; *б* — в горизонтальной плоскости; *в* — в поперечной вертикальной плоскости; $\varphi_к$, $\psi_к$, $\gamma_к$ — углы подъема, поворота и крена

10—30 раз по сравнению со стрельбой с места (с 0,1 тыс. до 2—3 тыс. по высоте и 1—2 тыс. по направлению).

Второй причиной увеличения рассеивания является влияние **запаздывания выстрела**, т. е. времени от момента окончания наводки, когда наводчик принял решение о производстве выстрела, до вылета снаряда из канала ствола. За время запаздывания выстрела, которое составляет около 0,1—0,15 *сек*, орудие не управляется наводчиком и вследствие колебаний корпуса танка может изменить свое угловое положение на 3—5 тыс. Естественно, что при таких отклонениях снаряд не попадет в цель.

Рассеивание снарядов возрастает также и вследствие **изменения** направления и величины **вектора начальной скорости снаряда:** снаряд всегда будет отклоняться в сторону движения ствола пушки.

В результате действия различных факторов рассеивание снарядов при стрельбе с ходу возрастает примерно в 10—12 раз.

Меткость стрельбы с ходу снижается также и вследствие непрерывного изменения дальности до цели. При скорости движения 20—25 *км/ч* установленная в прицеле дальность изменяется на одно деление (100 *м*) за 15—18 *сек*. Это требует от наводчика частых поправок, отвлекает от наблюдения за полем боя.

Колебания корпуса при движении существенно ухудшают условия действия экипажа при вооружении: затрудняются условия наблюдения из танка и обнаружения целей, а также работа наводчика и заряжающего. Темп стрельбы при движении снижается примерно вдвое.

В результате снижения меткости и темпа эффективность стрельбы из танка с ходу резко падает.

Для повышения эффективности стрельбы с ходу современные танки оснащаются специальными автоматическими устройствами — стабилизаторами танкового вооружения (СТВ).

§ 5.2. НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ТИПЫ СТВ

Стабилизаторы танкового вооружения предназначены для повышения меткости при стрельбе из танка с ходу путем сохранения заданного направления орудия или линии прицеливания с достаточно высокой точностью.

Как уже говорилось, сохранить заданное направление орудия вручную при движении танка практически невозможно, поэтому стабилизаторы вооружения представляют собой автоматические устройства или системы автоматического регулирования, обеспечивающие выполнение этой задачи без непосредственного участия человека.

Все разнообразие стабилизаторов танкового вооружения можно классифицировать по трем основным признакам: что стабилизируется, в скольких плоскостях стабилизируется и посредством чего стабилизируется.

По первому признаку все стабилизаторы разделяются на **стабилизаторы линии прицеливания** (поля зрения) и **стабилизаторы орудия (башни)**, называемые иногда стабилизаторами линии выстрела.

В стабилизаторах линии прицеливания стабилизируется поле зрения прицела, поэтому при движении танка видимые в поле зрения прицела перемещения целей, местных предметов и прицельных марок становятся незначительными. Условия наводки значительно улучшаются, и ошибки наводки соответственно уменьшаются. Однако орудие в этом случае не стабилизировано, оно колеблется вместе с корпусом танка, поэтому все остальные причины, обусловливающие уменьшение меткости, продолжают действовать.

В стабилизаторах орудия (башни) стабилизируется угол возвышения (угол горизонтальной наводки) орудия. При движении танка параметры угловых колебаний пушки значительно уменьшаются и ее направление с определенной точностью сохраняется неизменным. Благодаря этому значительно уменьшается влияние на меткость стрельбы остальных факторов, повышающих рассеивание снарядов, а именно запаздывание выстрела и изменение вектора начальной скорости снаряда.

Линия прицеливания при этом стабилизируется или независимо от орудия с помощью автономного стабилизатора линии прицеливания, или вместе с пушкой с помощью стабилизатора орудия (башни). В первом случае получаем так называемую независимую линию прицеливания, во втором — зависимую от орудия линию прицеливания.

По второму признаку стабилизаторы танкового вооружения разделяются на о д н о п л о с к о с т н ы е и д в у х п л о с к о с т н ы е.

В одноплоскостных стабилизаторах осуществляется стабилизация линии прицеливания или пушки только в одной (вертикальной) плоскости.

В двухплоскостных стабилизаторах линия прицеливания или пушка стабилизируется в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Стабилизация пушки в вертикальной плоскости обеспечивается с помощью с т а б и л и з а т о р а о р у д и я, а в горизонтальной плоскости — с помощью с т а б и л и з а т о р а б а ш н и. Стабилизатор орудия называют также стабилизатором ВН (стабилизатор в плоскости вертикальной наводки), стабилизатор башни — стабилизатором ГН (стабилизатор в плоскости горизонтальной наводки).

По третьему признаку различают стабилизаторы г и р о с к о п и ч е с к и е с и л о в ы е и стабилизаторы г и р о с к о п и ч е с к и е и н д и к а т о р н ы е.

В тех и других в качестве чувствительного элемента используются трехстепенные гироскопы. В силовых стабилизаторах стабилизирующий момент, развиваемый гироскопом, достаточен для непосредственной стабилизации линии прицеливания, орудия или башни, поэтому гироскоп выполняет одновременно и функцию силового привода.

В индикаторных стабилизаторах гироскоп лишь измеряет отклонения (является индикатором отклонения). Стабилизирующий мо-

мент, необходимый для сохранения заданного положения объекта стабилизации, создается специальным исполнительным приводом.

Силовые стабилизаторы получили применение главным образом в стабилизаторах линии прицеливания, индикаторные — в стабилизаторах орудия и башни.

§ 5.3. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ СТАБИЛИЗАТОРА ЛИНИИ ПРИЦЕЛИВАНИЯ

Стабилизация линии прицеливания осуществляется путем изменения положения элементов оптики прицела в строгом соответствии с изменением положения его корпуса, а значит, и корпуса движущегося объекта.

Впервые в практике мирового танкостроения стабилизация линии прицеливания была осуществлена в прицеле ТОС, установленном на танках Т-26 и БТ-7 (авторы разработки В. А. Павлов и А. З. Туниманов).

Поясним принцип стабилизации линии прицеливания на примере перископического прицела (рис. 5.2). Оптическая часть прицела имеет два плоскопараллельных зеркала — верхнее, расположенное в головке прицела, и нижнее.

В исходном положении (рис. 5.2, *а*), когда луч *ЦО*, идущий от цели, падает на верхнее зеркало под углом *NОЦ*, равным 45°, наводчик видит цель. Заметим, что в этом случае луч, отраженный верхним зеркалом, совпадает с осью *OO′* перископа и падает на нижнее зеркало также под углом 45°.

При повороте корпуса танка на угол $\varphi_к$ в продольной вертикальной плоскости вместе с ним поворачивается на такой же угол корпус прицела и установленные в нем зеркала (рис. 5.2, *б*). Поскольку луч, идущий от цели, сохраняет свое направление, а верхнее зеркало и нормаль *ON′* повернулись вместе с корпусом на угол $\varphi_к$, то угол падения *N′ОЦ* также уменьшился на величину угла $\varphi_к$. Соответственно уменьшается на такую же величину и угол отражения *N′OA* (по законам оптики в однородной среде углы падения и отражения равны). Луч *OA*, отраженный верхним зеркалом, уже не совпадает с оптической осью *OO′*, а при больших углах поворота корпуса может вообще не попасть на нижнее зеркало. Наводчик цели не видит.

Для того чтобы цель была видна, необходимо развернуть верхнее зеркало относительно корпуса прицела в противоположную сторону (в рассматриваемом примере против хода часовой стрелки). Угол относительного поворота верхнего зеркала должен быть таким, чтобы луч *OA* совпал с направлением оптической оси *OO′* перископа. Для определения величины угла поворота зеркала вначале вычислим угол рассогласования между лучом *OA*, отраженным верхним зеркалом, и оптической осью *OO′* ($\angle AOO'$).

Из рис. 5.2, *б* видим, что при повороте корпуса прицела на угол $\varphi_к$ угол *ЦОO′* уменьшается на величину $\varphi_к$ и становится равным

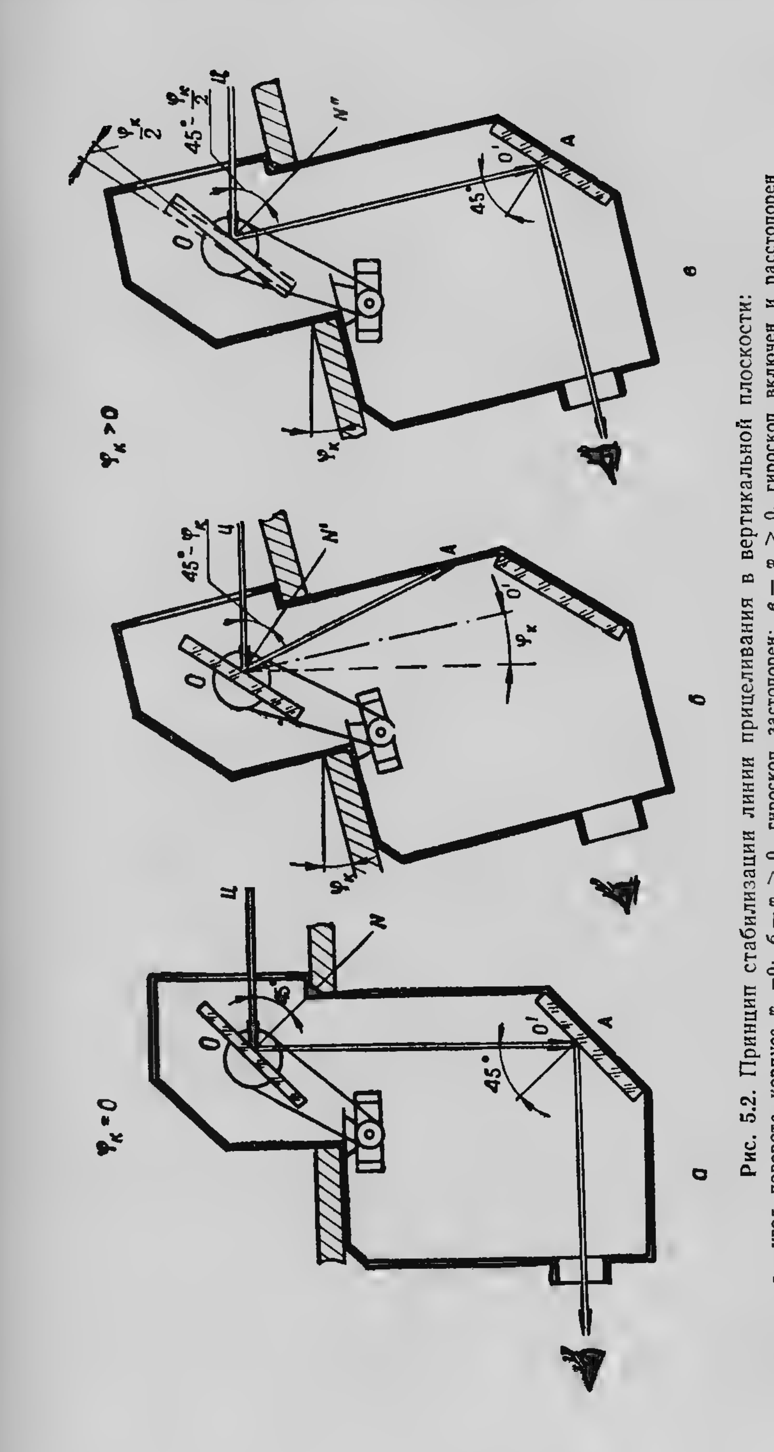


Рис. 5.2. Принцип стабилизации линии прицеливания в вертикальной плоскости:
а — угол поворота корпуса $\varphi_к = 0$; *б* — $\varphi_к > 0$, гироскоп застопорен; *в* — $\varphi_к > 0$, гироскоп включен и расстопорен

$90° - \varphi_к$. При этом же повороте угол *ЦОА*, равный сумме углов падения *N'OЦ* и отражения *N'OA*, уменьшается на величину $2\varphi_к$ ($\sphericalangle ЦОА = \sphericalangle N'OЦ + \sphericalangle N'OA = 2(45° - \varphi_к) = 90° - 2\varphi_к$). Из сравнения углов *ЦОО'* и *ЦОА* следует, что луч *ОА* отклонился от *ОО'* на угол $\varphi_к$. Следовательно, для того чтобы луч *ОА* пошел по направлению *ОО'*, головное зеркало нужно развернуть на угол $\frac{\varphi_к}{2}$ в направлении хода часовой стрелки (рис. 5.2, *в*). При таком повороте головного зеркала угол падения *N"OЦ* увеличится на величину $\frac{\varphi_к}{2}$ и станет равным $45° - \frac{\varphi_к}{2}$, а угол *ЦОА* возрастет до значения $90° - \varphi_к$ ($\sphericalangle ЦОА = \sphericalangle N''OЦ + \sphericalangle N''OA = 2\left(45° - \frac{\varphi_к}{2}\right) = 90° - \varphi_к$) и станет равным углу *ЦОО'*. Наводчик снова видит цель.

При повороте корпуса прицела по ходу часовой стрелки головное зеркало необходимо развернуть относительно корпуса на угол $\frac{\varphi_к}{2}$ в противоположную сторону, т. е. против хода часовой стрелки.

Таким образом, для стабилизации линии прицеливания в вертикальной плоскости необходимо при поворотах корпуса прицела на некоторый угол одновременно поворачивать верхнее зеркало относительно корпуса прицела в противоположном направлении на половину этого угла.

Реализуется такой закон регулирования посредством связи верхнего зеркала с наружной рамкой трехстепенного гироскопа кинематической передачей с передаточным числом 2 : 1.

При повороте корпуса прицела на угол $\varphi_к$ гироскоп, оставаясь неподвижным в пространстве, поворачивается относительно корпуса прицела на такой же угол, но в противоположную сторону (рис. 5.2, *в*). Верхнее зеркало, связанное с гироскопом понижающей передачей ($i = 2:1$), поворачивается относительно корпуса прицела на требуемый угол $\frac{\varphi_к}{2}$.

Ввиду того что кинематическая связь головного зеркала с гироскопом жесткая, относительное движение зеркала строго соответствует (по знаку и величине) движению корпуса. Наводчик непрерывно видит цель.

Точность стабилизации линии прицеливания определяется точностью работы гироскопа и точностью кинематической передачи.

Как видим, в этом стабилизаторе гироскоп выполняет функции измерителя отклонения и одновременно функции исполнительного органа, обеспечивая непосредственное (силовое) воздействие на головное зеркало. Поэтому стабилизатор такого типа и называется **гироскопическим силовым**.

Для изменения направления линии визирования в вертикальной плоскости при наводке на цель используется свойство прецессии гироскопа. С помощью электромагнитов наведения создается управляющий момент, действующий на внутреннюю рамку гироскопа. Под действием управляющего момента возникает движение (поворот) наружной рамки. Через кинематическую передачу это движение сообщается головному зеркалу прицела. Движение прекращается, как только момент управления становится равным нулю. Поворот головного зеркала прицела приводит к изменению положения линии визирования.

§ 5.4. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ СТАБИЛИЗАТОРА ОРУДИЯ

Стабилизация орудия обеспечивается путем сохранения заданного положения орудия в вертикальной плоскости или башни вместе с орудием в горизонтальной плоскости с помощью какого-либо исполнительного привода.

Поясним принцип стабилизации на примере стабилизатора орудия.

При движении танка его корпус колеблется и эти колебания передаются орудию. Даже в случае полной уравновешенности орудия и отсутствия маятниковости (центр тяжести качающейся части орудия находится на оси цапф), вследствие трения в опорах цапф орудие увлекается вслед за корпусом. При этом угол возвышения орудия $\varphi_о$ отличается от заданного наводкой угла $\varphi_з$ на величину ошибки (отклонения):

$$\Theta_о = \varphi_з - \varphi_о.$$

Величина отклонения $\Theta_о$ тем больше, чем больше момент трения. В идеальном случае, т. е. при отсутствии трения, полностью уравновешенное орудие, обладающее определенной массой, оставалось бы в заданном положении. Однако в реальных условиях, когда есть и трение, и неуравновешенность, отклонения орудия $\Theta_о$ велики и его наводка на цель затруднена.

При наличии стабилизатора отклонения орудия $\Theta_о$ относительно заданного положения измеряется специальным датчиком угла, выполненным на основе трехстепенного гироскопа (рис. 5.3, *а*). Измеренное отклонение преобразуется с помощью вращающегося трансформатора в электрический сигнал, который затем усиливается и преобразуется специальным усилителем и подается на вход исполнительного привода стабилизатора. В соответствии с величиной и знаком сигнала рассогласования исполнительный привод (в рассматриваемом примере электрогидравлический) развивает вращающий момент, под действием которого возникает движение орудия относительно корпуса (башни) в противоположную сторону. Если скорость относительного движения орудия сравняется со скоростью движения корпуса, то дальнейшее увеличение отклонения $\Theta_о$ прекратится (рис. 5.3, *б*).

При подходе корпуса к крайнему положению его скорость уменьшается и становится меньше скорости относительного движения орудия, развиваемой исполнительным приводом. Орудие начинает перемещаться назад к исходному положению $\varphi_з$, и рассогласова-

ние Θ_0 уменьшается. Соответственно уменьшается и скорость движения орудия к согласованному положению.

С началом движения корпуса в обратном направлении орудие отклоняется в другую сторону. При этом изменяется знак (фаза) сигнала, вырабатываемого вращающимся трансформатором датчика угла, и знак развиваемого электрогидроприводом вращающего

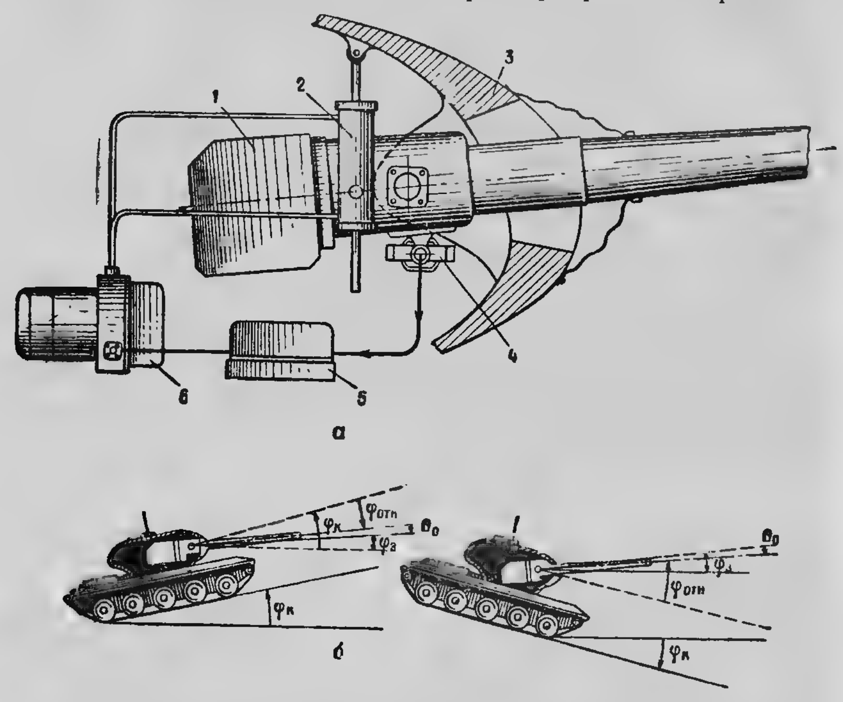


Рис. 5.3. Принцип стабилизации орудия:

а — принципиальная схема стабилизатора орудия; *б* — движение стабилизированного орудия при колебаниях танка; *1* — орудие; *2* — исполнительный цилиндр; *3* — башня; *4* — датчик отклонения; *5* — усилитель; *6* — гидроусилитель

момента. Орудие начинает двигаться относительно корпуса опять в противоположном направлении, поэтому его отклонение Θ_0 относительно заданного положения и в этом случае будет значительно меньше величины угла поворота корпуса $\varphi_к$.

При движении танка углы поворота его корпуса непрерывно изменяются как по величине, так и по знаку. Соответственно изменяется и величина отклонения орудия Θ_0 от своего заданного положения. Чем «чувствительнее» стабилизатор, т. е. чем больше величина развиваемого исполнительным приводом вращающего (стабилизирующего) момента при отклонении орудия на единицу угла, тем выше точность стабилизации.

Заметим, что поскольку причиной появления стабилизирующего момента является отклонение орудия Θ_0, то стабилизатор вооружения рассматриваемого типа не может обеспечить абсолютную (идеальную) стабилизацию линии выстрела, при которой отклонения пушки относительно заданного положения вообще отсутствуют. В таких стабилизаторах можно обеспечить сохранение заданного угла возвышения или угла горизонтальной наводки лишь с некоторой предельно возможной точностью.

Функциональная схема стабилизатора орудия, использующего принцип регулирования по отклонению, показана на рис. 5.4.

При движении танка стабилизируемое орудие непрерывно поворачивается относительно корпуса (башни) на угол $\varphi_{отн}$, равный разности угла поворота корпуса $\varphi_к$ и угла поворота (отклонения) орудия Θ_0: $\varphi_{отн} = \varphi_к - \Theta_0$ (рис. 5.3).

При высокой точности стабилизации, когда углы отклонения орудия Θ_0 малы, углы $\varphi_{отн}$ примерно равны углам поворота корпуса $\varphi_к$. Экипаж танка, находящийся в башне, наблюдает это относительное движение орудия в виде его непрерывных колебаний. (В действительности стабилизируемое орудие почти не перемещается, а перемещается экипаж вместе с корпусом танка и башней.)

Относительное движение орудия затрудняет действия экипажа при вооружении, особенно работу заряжающего, поэтому приходится принимать специальные меры в виде блокировки орудия на башню на период его заряжания, а также защищать экипаж с помощью специальных щитков ограждения.

Для обеспечения наводки по высоте наводчик, воздействуя на пульт управления *ПУ* (рис. 5.4), вызывает прецессию наружной рамки гироскопа датчика угла. Возникающий при этом угол рассогласования между рамкой и основанием гироскопа, закрепленным на орудии, преобразуется вращающимся трансформатором в электрический сигнал. Под действием этого сигнала, усиленного электронным усилителем, исполнительный привод обеспечивает поворот орудия с определенной скоростью, равной скорости прецессии наружной рамки гироскопа. Чем больше угол поворота пульта, тем больше величина тока в обмотках электромагнита на-

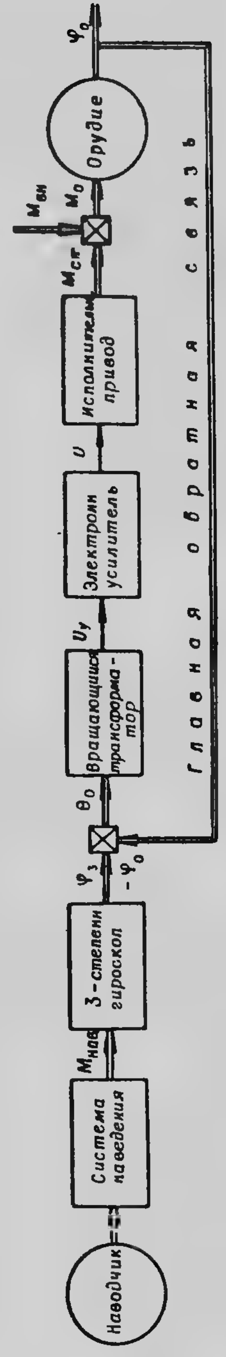


Рис. 5.4. Функциональная схема стабилизатора орудия с гироскопическим датчиком угла (датчиком отклонения)

ведения датчика угла, скорость прецессии наружной рамки гироскопа, угол рассогласования между ротором и статором вращающегося трансформатора, величина вырабатываемого им электрического сигнала и в конечном счете скорость поворота орудия.

При возвращении пульта в исходное (нейтральное) положение цепь питания обмоток электромагнита наведения прерывается, развиваемый электромагнитом момент становится равным нулю и прецессия наружной рамки гироскопа прекращается. Поворот орудия также прекращается, начинается его стабилизация в новом, заданном положении.

§ 5.5. СТАБИЛИЗАТОР ОРУДИЯ С ДАТЧИКОМ УГЛА И ДАТЧИКОМ СКОРОСТИ (ГИРОТАХОМЕТРОМ)

Точность стабилизации орудия, выполненного по принципу регулирования по отклонению, пропорциональна величине жесткости, которая представляет собой удельный стабилизирующий момент, развиваемый исполнительным приводом:

$$G_0 = \frac{M_{ст}}{\Theta_0} \ [кгс \cdot м/тыс].$$

Жесткость стабилизатора G_0 зависит от величины передаточного коэффициента вращающегося трансформатора датчика угла $k_{в.т}$ и коэффициентов усиления электронного усилителя $k_{э.у}$ и исполнительного привода $k_{и.п}$. Для регулировки величины жесткости стабилизатора G_0 в цепи преобразования и усиления управляющего сигнала предусматриваются регулировочные приспособления. Обычно они выполнены в виде регулировочных потенциометров, включенных между датчиком угла и входом электронного усилителя.

Теория и практика автоматического регулирования показывают, что в замкнутой системе регулирования чрезмерно увеличивать коэффициент усиления нельзя. При некотором его значении в системе возникают незатухающие колебания, в результате которых отклонения регулируемой величины резко увеличиваются и система становится неработоспособной.

Одной из причин возникновения колебаний стабилизируемого орудия является его инерционность, а также инерционность исполнительного привода и других элементов замкнутого контура регулирования, обусловливающая запаздывание во времени стабилизирующего момента $M_{ст}$ по отношению к отклонению орудия Θ_0 от заданного положения. Поясним сказанное временной диаграммой, показанной на рис. 5.5. Для простоты будем учитывать только инерционность орудия.

Пусть в какой-то момент времени, который принят за начало отсчета, орудие, увлекаемое корпусом танка (башней), отклоняется относительно заданного положения и величина этого отклонения Θ_0 растет (рис. 5.5, *а*). Появившееся отклонение измеряется

датчиком угла, в соответствии с сигналом которого исполнительный привод создает стабилизирующий момент $M_{ст}$. Под действием этого момента отклонение орудия замедляется и в момент времени t_1 дальнейшее его увеличение прекращается. Затем под действием $M_{ст}$

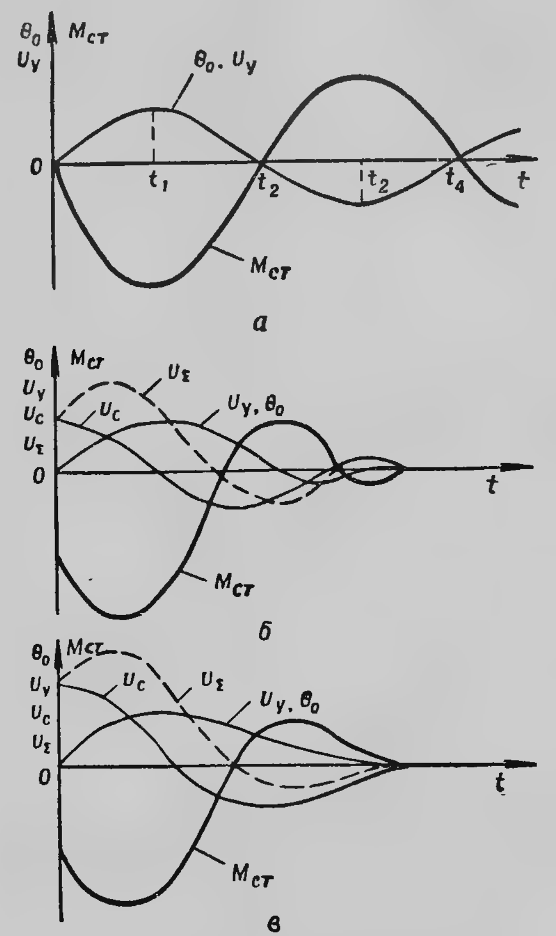


Рис. 5.5. Временные диаграммы изменения стабилизирующего момента, отклонения орудия и управляющих сигналов:

а — в стабилизаторе орудия с гироскопическим датчиком угла; *б* — в стабилизаторе орудия с гироскопическим датчиком угла и угловой скорости; *в* — то же, при увеличенном сигнале датчика скорости

орудие начинает движение к исходному положению. В момент времени t_2 отклонение Θ_0 становится равным нулю. Уменьшается до нуля (с учетом принятого допущения) и развиваемый исполнительным приводом стабилизирующий момент $M_{ст}$. Однако орудие, обладающее определенной массой и движущееся с не-

которой скоростью, не может мгновенно остановиться. Оно по инерции проходит заданное положение и отклоняется на некоторый угол в противоположную сторону. Снова нарастает стабилизирующий момент $M_{ст}$, а в момент времени t_3 отклонение достигает максимальной величины и снова начинается его движение в сторону заданного положения. Далее процесс повторяется, причем при большом значении жесткости стабилизатора $G_о$ колебания орудия вследствие относительно малого трения в цапфах затухают слабо. В реальных случаях при некотором значении жесткости они вообще не затухают и наблюдаются в виде вибраций орудия с той или иной частотой и амплитудой.

Возникает противоречие: для повышения точности стабилизации необходимо повышать жесткость стабилизатора $G_о$, но при этом система становится неустойчивой. Уменьшив жесткость до минимума, обеспечивающего устойчивую работу системы, не получим требуемой точности.

Противоречие разрешается путем введения в схему стабилизатора еще одного гироскопического датчика — датчика абсолютной угловой скорости орудия (гиротахометра).

При наличии датчика скорости его сигнал суммируется с сигналом датчика угла. Необходимо учесть, что сигнал датчика скорости имеет максимальную величину в моменты времени, когда сигнал датчика угла равен нулю. Если теперь эти сигналы просуммировать с учетом их знака (фазы) так, чтобы суммарный сигнал, поступающий с датчиков на вход усилителя, менял свой знак до прихода орудия в согласованное положение (рис. 5.5, *б*), то колебания орудия можно быстро погасить. Чем больше сигнал датчика скорости по отношению к сигналу датчика угла, тем эффективнее

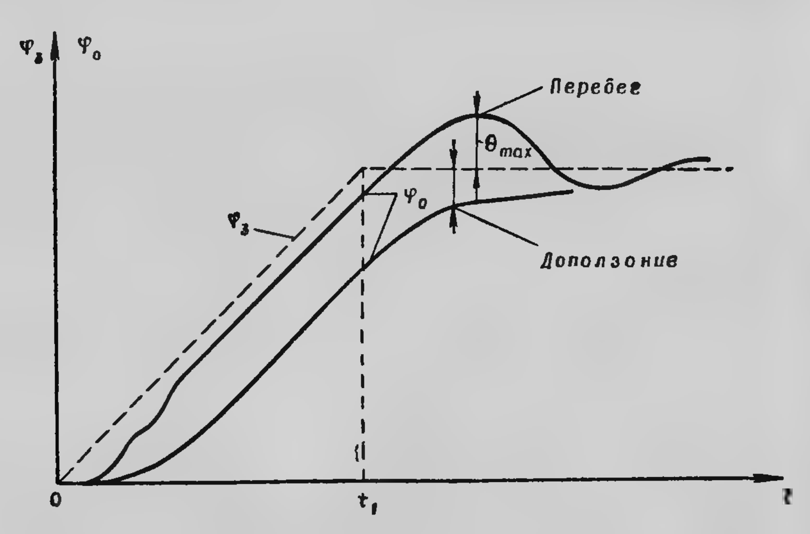


Рис. 5.6. График зависимостей $\varphi_з = f(t)$, $\varphi_о = f(t)$ при движении и остановке орудия (количество перебегов два, величина максимального перебега θ_{max})

гасятся колебания орудия (выше демпфирование колебаний) (рис. 5.5, *в*).

Вводя датчик скорости, можно соответственно увеличить сигнал датчика угла (повысить жесткость стабилизатора) и тем самым обеспечить требуемую точность стабилизации орудия.

Однако беспредельно увеличивать сигнал датчика скорости также нельзя. При некотором значении величины этого сигнала стабилизатор снова становится неработоспособным. Опять возникают вибрации орудия, причиной которых является уже чрезмерно большой сигнал датчика скорости.

Правильность регулировки соотношения сигналов датчика угла и датчика скорости оценивается по показателям **степени демпфирования**, которые легко определить практически. Ими являются: количество перебегов и величина максимального перебега (или доползания), которые совершает орудие, двигавшееся с определенной скоростью, задаваемой пультом, после мгновенного возвращения пульта в исходное положение (рис. 5.6).

Итак, качество стабилизатора, вернее, качество его регулировки можно оценить по двум показателям: по величине **жесткости стабилизатора** и по **степени демпфирования.**

Для каждого конкретного типа стабилизатора вооружения определяются наиболее оптимальные значения этих параметров. Эти значения даются обычно в технической характеристике.

Аналогично обеспечивается стабилизация и в горизонтальной плоскости. Однако, учитывая, что танки, как правило,

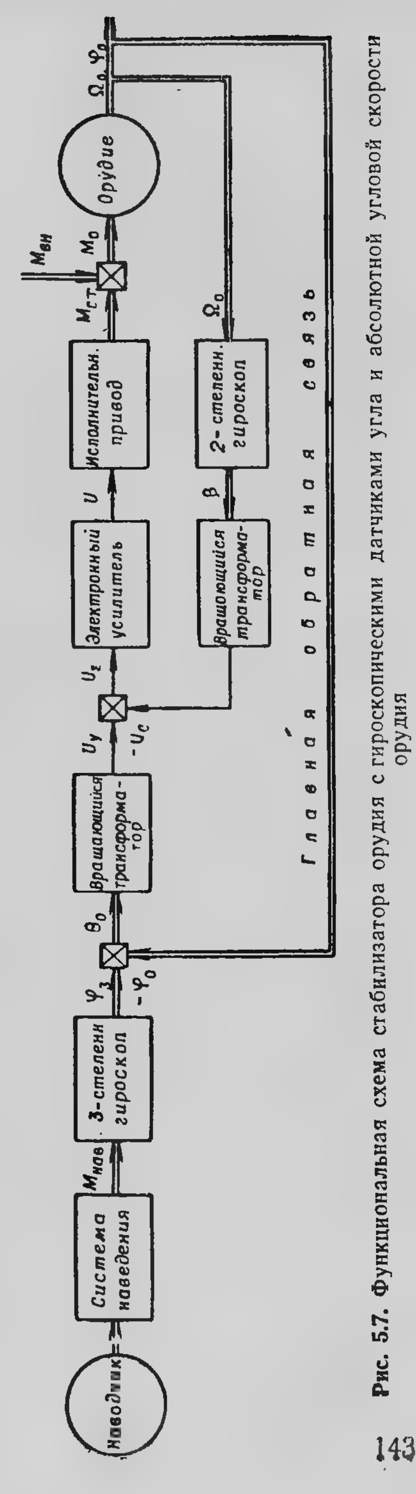


Рис. 5.7. Функциональная схема стабилизатора орудия с гироскопическими датчиками угла и абсолютной угловой скорости орудия

имеют возможность кругового вращения башни, проще стабилизировать в этой плоскости башню вместе с пушкой. Исполнительный привод в стабилизаторе башни должен иметь двигатель вращательного действия.

Функциональная схема типового стабилизатора танкового вооружения показана на рис. 5.7. Как видно из рис. 5.7, в стабилизаторе существуют два контура регулирования: главный контур регулирования по величине отклонения орудия (жесткая отрицательная обратная связь) и дополнительный контур регулирования по абсолютной скорости движения орудия (гибкая отрицательная обратная связь).

Соответствующей регулировкой величины управляющих сигналов этих контуров можно обеспечить высокую точность стабилизации орудия при движении танка и повысить тем самым эффективность огня при стрельбе с ходу.

Глава 6

НАЗЕМНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ АППАРАТУРА (ННА)

§ 6.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ННА

Наземная навигационная аппаратура предназначена для определения местонахождения движущегося объекта в условиях затрудненного ориентирования.

Применение ННА для обеспечения боевых действий войск на любой местности позволяет осуществить точный выход в назначенный район в любое время суток и года.

Приборы навигационной аппаратуры непрерывно вычисляют и указывают текущие координаты местонахождения движущегося объекта, направление его движения — курс, а при наличии в комплекте аппаратуры курсопрокладчика, в котором устанавливается топографическая карта, на ней одновременно вычерчивают маршрут движения объекта.

Применение навигационной аппаратуры позволяет решать следующие тактические задачи:

— водить колонны и отдельные боевые машины по заданному маршруту с выходом в заданный район;

— прокладывать на топографической карте путь, пройденный машиной;

— определять координаты различных точек на местности по топографической карте;

— определять дирекционные углы видимых ориентиров;

— производить топографическую привязку боевых порядков сухопутных войск, а также привязку огневых позиций танков и артиллерии при стрельбе с закрытых позиций.

§ 6.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ДВИЖУЩЕГОСЯ ОБЪЕКТА

Местонахождение объекта на поверхности земли определяется числовыми величинами — координатами.

В зависимости от принятого способа отсчета различают следующие системы координат:

— система географических координат, в которой точка местонахождения объекта на земной поверхности определяется широтой, отсчитываемой в градусах от экватора к северу или югу (по меридиану), и долготой, отсчитываемой от нулевого меридиана к западу или востоку (по параллелям);

— система прямоугольных координат, в которой положение точки на земной поверхности определяется по топографической карте координатами этой точки относительно взаимно перпендикулярных осей X и Y;

— система полярных координат, в которой положение точки на земной поверхности определяется радиус-вектором: величиной радиуса, соединяющего эту точку с точкой, координаты которой известны, и его направлением относительно вертикальных линий координатной сетки — полярным (дирекционным) углом.

В наземной навигационной аппаратуре производят измерения в системе полярных координат и преобразуют их в прямоугольные координаты, в которых выполнены топографические карты, применяемые в сухопутных войсках.

Для вычисления маршрута движения объекта, т. е. для определения текущих координат, необходимо непрерывно (в каждой точке маршрута) определять приращение координат и суммировать их с исходными координатами — координатами точки, из которой начинается движение.

Рассмотрим, какие операции необходимо производить для этой цели.

Допустим, что машина движется из точки 0 (рис. 6.1, *а*), координаты которой X_0 и Y_0 известны, в точку *1*, удаленную на достаточно малое расстояние ΔS_1 в направлении, определяемом дирекционным углом α_1[1]. При перемещении объекта из точки 0 в точку *1* координаты объекта получат приращение ΔX_1 и ΔY_1.

Если приращение пути ΔS_1 и дирекционный угол α_1 известны, то приращения координат ΔX_1 и ΔY_1 могут быть определены из следующих соотношений:

$$\Delta X_1 = \Delta S_1 \cos\alpha_1;$$
$$\Delta Y_1 = \Delta S_1 \sin\alpha_1.$$

Учитывая начальные координаты X_0 и Y_0, получаем координаты точки *1*:

$$X_1 = X_0 + \Delta S_1 \cos\alpha_1;$$
$$Y_1 = Y_0 + \Delta S_1 \sin\alpha_1.$$

Аналогично, зная приращение пути ΔS_2 и дирекционный угол α_2, можно вычислить координаты машины в точке *2*:

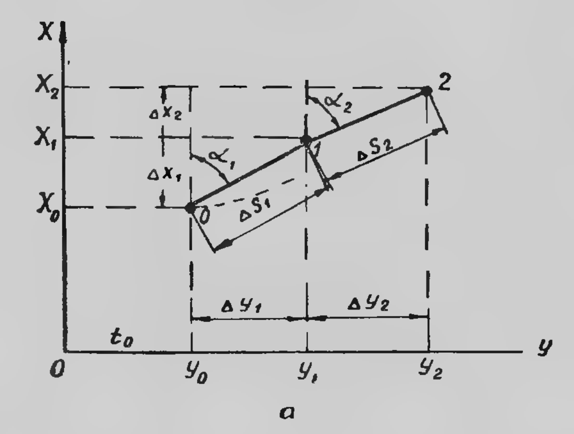
$$X_2 = X_0 + \Delta S_1 \cos\alpha_1 + \Delta S_2 \cos\alpha_2;$$
$$Y_2 = Y_0 + \Delta S_1 \sin\alpha_1 + \Delta S_2 \sin\alpha_2.$$

[1] Дирекционным углом называется угол между направлением на север вертикальной линии координатной сетки карты и направлением движения объекта (его продольной осью), который измерен по ходу часовой стрелки в делениях угломера (60-00 делений угломера соответствуют 360°).

Следовательно, текущие координаты движущегося объекта могут быть получены суммированием начальных координат с их текущими приращениями:

$$X_п = X_0 + \sum_{i=1}^{i=n} \Delta S_i \cos\alpha_i;$$

$$Y_п = Y_0 + \sum_{i=1}^{i=n} \Delta S_i \sin\alpha_i.$$



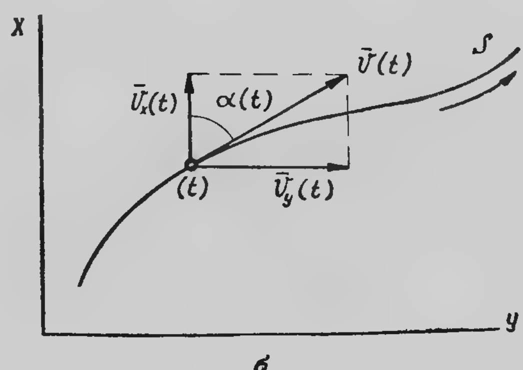


Рис. 6.1. Определение координат движущегося объекта

В общем случае, т. е. при движении машины с непрерывно изменяющимися во времени скоростью $V(t)$ и дирекционным углом $\alpha(t)$, приращение пути выражается через скорость и время:

$$\Delta S = \int V(t)\,dt.$$

Тогда приращения координат за промежуток времени t_m можно будет определить следующим образом:

$$\Delta X_m = \int_0^m V(t)\cos\alpha(t)\,dt;$$

$$\Delta Y_m = \int_0^m V(t)\sin\alpha(t)\,dt.$$

Текущие координаты для общего случая движения определяют следующими формулами:

$$X_m = X_0 + \int_0^{t_m} V(t)\cos\alpha(t)\,dt;$$

$$Y_m = Y_0 + \int_0^{t_m} V(t)\sin\alpha(t)\,dt.$$

Из изложенного следует, что для определения координат движущегося объекта надо непрерывно производить следующие операции:

— измерять скорость V для определения приращения пути движущегося объекта;

— измерять дирекционный угол α, определяющий курс (направление) движения объекта;

— вычислять тригонометрические функции дирекционного угла $\cos\alpha(t)$ и $\sin\alpha(t)$;

— вычислять приращения координат ΔX и ΔY, т. е. умножать приращение пути движущегося объекта на тригонометрические функции дирекционного угла $\cos\alpha(t)$ и $\sin\alpha(t)$;

— вычислять текущие координаты, т. е. суммировать приращения координат (ΔX и ΔY) с соответствующими начальными координатами (X_0 и Y_0).

Все перечисленные измерения и вычисления должны производиться непрерывно при изменяющихся скорости и направлении движения объекта.

Решение этой задачи обеспечивается применением в навигационной аппаратуре специальных автоматически действующих измерительных элементов и вычислительных механизмов.

§ 6.3. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НАЗЕМНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ

Для производства операций, обеспечивающих определение текущих координат объекта, комплект танковой навигационной аппаратуры должен включать следующие основные элементы:

— датчик пути ДП для непрерывного измерения скорости и определения приращений пути движущегося объекта;

— датчик курса ДК для непрерывного измерения дирекционного угла (курса) движения объекта;

— синусно-косинусный построитель СКП для вычисления тригонометрических функций $\cos\alpha$ и $\sin\alpha$ дирекционного угла;

— множительные механизмы MM_X и MM_Y для умножения приращений пути на тригонометрические функции дирекционного угла $\cos\alpha$ и $\sin\alpha$, т. е. вычисления приращений координат ΔX и ΔY движущегося объекта;

— сумматоры C_X и C_Y для суммирования приращений координат ΔX и ΔY с их начальными значениями X_0 и Y_0 — вычисления текущих координат X и Y, определяющих местонахождение объекта.

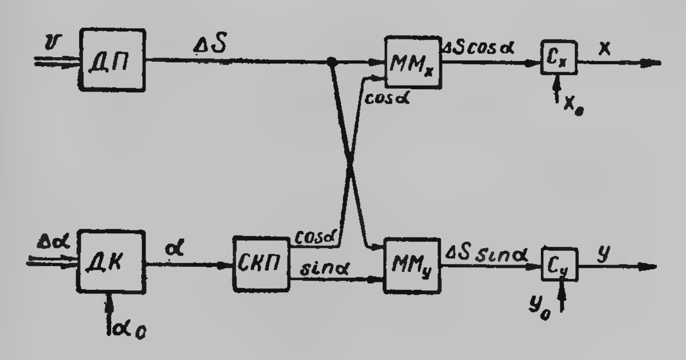


Рис. 6.2. Функциональная схема ННА

Взаимные связи между перечисленными элементами показаны на функциональной схеме (рис. 6.2).

В некоторых системах навигационной аппаратуры устанавливается курсопрокладчик, осуществляющий прокладку пройденного пути (нанесение маршрута движения машины) на топографической карте.

Кроме указанных основных элементов в комплект наземной навигационной аппаратуры входят источники питания, вспомогательные, коммутационные, сигнальные и другие элементы.

Рассмотрим принцип действия основных элементов навигационной аппаратуры.

Датчик пути. Путь, пройденный объектом за какой-то промежуток времени, может быть измерен с помощью колеса, радиус и скорость которого известны. Если колесо вращается только при перемещении объекта, то пройденный объектом путь будет равен

$$S = 2\pi R_к n_к = \frac{2\pi R_к}{360}\beta_к = c\beta_к,$$

где $R_к$ — радиус колеса;
$n_к$ — число оборотов колеса;
$\beta_к$ — суммарный угол поворота колеса.

Таким образом, зная радиус и суммарный угол поворота ведомого колеса, можно определить путь, пройденный объектом.

Привод от ведомого колеса к множительным механизмам включает обычно электрическую синхронную передачу.

На рис. 6.3 показана схема датчика пути, которая широко применяется в наземной навигационной аппаратуре. Здесь гибкий валик ГВ является промежуточным звеном между ведомым колесом K и синхронной передачей угла на сельсинах. В данной схеме путь, пройденный объектом, пропорционален углу поворота сельсина-приемника СП, т. е.

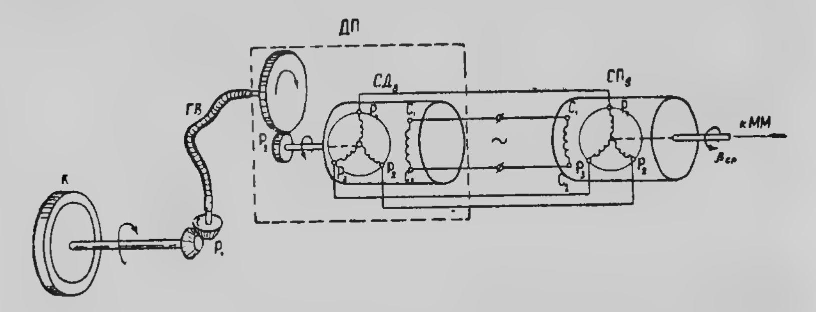


Рис. 6.3. Кинематическая схема датчика пути и электрическая схема дистанционной передачи пути

$$S = \frac{2\pi R_к}{360 i} \beta_{СП},$$

где i — суммарное передаточное число между колесом и ротором сельсина-датчика СД;

$\beta_{СП}$ — суммарный угол поворота ротора сельсина-приемника СП.

При изменении пути рассмотренным способом неизбежны погрешности вследствие буксования и юза. Для уменьшения ошибок, обусловленных указанными факторами, в аппаратуре предусматривается возможность ввода поправки в измерение пути (корректуры пути) в зависимости от характера местности, по которой совершается движение.

Датчик курса. Для измерения дирекционных углов движения наземных объектов применяются специальные гироскопические приборы, называемые гироскопами направления или гирополукомпасами.

Основным элементом датчика курса является трехстепенный астатический гироскоп, обладающий большим кинетическим моментом. Применение трехстепенного гироскопа для измерения дирекционного угла определяется его основным свойством — способностью сохранять неизменным заданное направление главной оси гироскопа (оси ротора) независимо от перемещения основания.

Если основание трехстепенного гироскопа жестко соединено с корпусом подвижного объекта, то с помощью гироскопа при перемещении объекта можно измерять дирекционный угол.

Для измерения дирекционного угла на оси $Z - Z$ наружной рамки НР гироскопа (рис. 6.4) жестко закреплена шкала $Ш_\alpha$ отсчета дирекционного угла, а на корпусе K — стрелка (индекс $И$).

При прямолинейном движении машины стрелка занимает неизменное положение и ее острие показывает на шкале отсчета дирекционный угол, соответствующий данному направлению (курсу) движения.

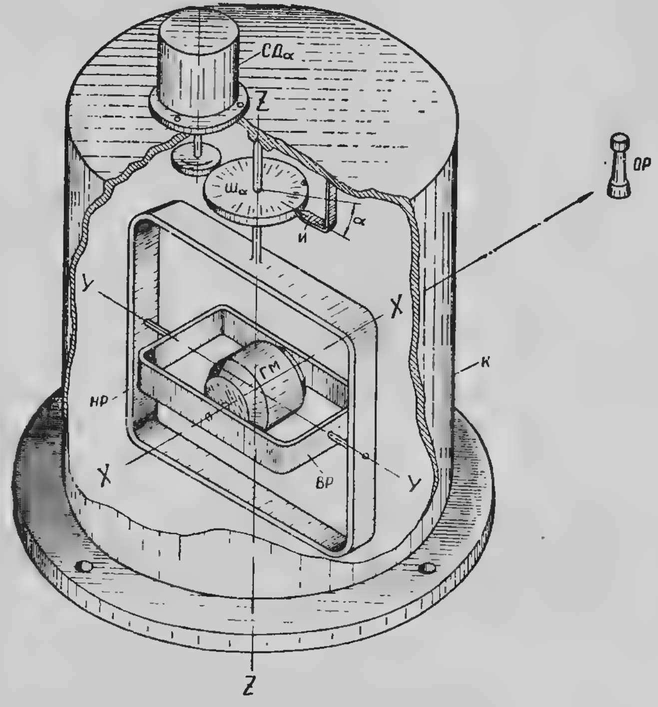


Рис. 6.4. Кинематическая схема датчика курса (гирополукомпаса)

При повороте машины (изменении курса движения) корпус датчика курса и закрепленная на нем стрелка $И$ поворачиваются на угол α, соответствующий величине и направлению поворота машины. Благодаря свойству устойчивости трехстепенного гироскопа направление его главной оси $X - X$ на ориентир OP остается неизменным и тем самым отсчетная шкала $Ш_\alpha$ относительно оси $Z - Z$ не поворачивается.

Таким образом, при повороте машины стрелка $И$ перемещается относительно делений отсчетной шкалы $Ш_\alpha$, что позволяет из-

мерить дирекционный угол, соответствующий изменившемуся направлению движения машины.

Для преобразования изменяющегося дирекционного угла в электрический сигнал и его дистанционной передачи в синусно-косинусный построитель применяются сельсины (или синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы) и специальная следящая система.

Измерение и дистанционная передача дирекционного угла обычно производятся сельсинами $СД_\alpha$ и $СП_\alpha$, работающими в трансформаторном режиме.

Для повышения точности удержания главной оси гироскопа в неизменном направлении относительно земных ориентиров трехстепенные гироскопы, применяемые в навигационной аппаратуре, снабжаются корректирующим и горизонтирующим устройствами.

Корректирующее устройство служит для компенсации ухода главной оси гироскопа вследствие суточного вращения Земли.

Как известно, главная ось гироскопа сохраняет неизменным заданное положение в мировом пространстве. В результате суточного вращения Земли ориентиры поворачиваются относительно главной оси гироскопа, происходит так называемый «кажущийся» уход, скорость которого изменяется с изменением широты.

Если расположить гироскоп на Северном полюсе, то наблюдателю будет казаться, что главная ось гироскопа поворачивается за 24 *ч* на 360°, т. е. скорость кажущегося поворота главной оси равна 15°/*ч*.

Если расположить гироскоп на экваторе, то наблюдатель не обнаружит ухода главной оси гироскопа, т. е. скорость ухода главной оси будет равна нулю.

Таким образом, при перемещении объекта по широте кажущийся уход главной оси гироскопа будет изменяться от нуля (на экваторе) до максимального значения (на Северном полюсе).

Для компенсации ухода главной оси гироскопа относительно земных ориентиров на данной географической широте к внутренней рамке гироскопа прикладывается внешний момент такой величины и направления, чтобы скорость прецессии наружной рамки гироскопа вокруг вертикальной оси в направлении вращения Земли была равна угловой скорости кажущегося поворота. Этот момент может создаваться специальным электрическим двигателем или грузиком.

Величина приложенного момента выбирается такой, чтобы скорость прецессии наружной рамки гироскопа под его действием была равна скорости кажущегося ухода на данной широте. Для регулирования скорости прецессии достаточно изменить момент электрического двигателя или длину плеча, на котором действует грузик.

Горизонтирующее устройство предназначено для удержания главной оси гироскопа в плоскости горизонта. Это

устройство состоит из чувствительного элемента, реагирующего на отклонение главной оси из плоскости горизонта и реверсивного электрического двигателя, создающего момент относительно оси наружной рамки. В качестве чувствительного элемента используется специальный жидкостный или маятниковый переключатель, установленный на внутренней рамке гироскопа.

При уходе главной оси гироскопа из плоскости горизонта переключатель включает реверсивный электрический двигатель, который, воздействуя на наружную рамку гироскопа, вызывает прецессию внутренней рамки до тех пор, пока главная ось гироскопа не займет горизонтального положения, при котором двигатель выключается.

С целью повышения точности гироскопа предусматривают специальные устройства: для уменьшения трения гиромотор размещают в вакуумной камере и вводят механизм «оживления» опор; для устранения смещения центра тяжести гироскопа вследствие нагрева применяют термокомпенсатор или поддерживают постоянную температуру корпуса гироскопа и т. д.

Уход главной оси в современных гироскопах обычно не превышает 20 делений угломера в час.

Синусно-косинусный построитель (СКП) предназначен для вычисления тригонометрических функций (синуса и косинуса) дирекционного угла движущегося объекта путем преобразования угловых перемещений (дирекционного угла α) в линейные перемещения, пропорциональные $\sin\alpha$ и $\cos\alpha$.

Синусно-косинусный построитель (рис. 6.5) представляет собой диск *3*, на котором установлен ведущий палец *2*, соединенный с двумя каретками *1* и *4*. Каретки расположены под углом 90° и установлены в направляющих, которые обеспечивают их возвратно-поступательное движение. Если диск *3* повернуть на угол α, то палец *2* вместе с каретками *1* и *4* переместится и расстояния пальца от оси $X-X$ и оси $Y-Y$ будут соответственно равны

$$l_X = R\cos\alpha \text{ и } l_Y = R\sin\alpha,$$

а при $R=1$

$$l_X = \cos\alpha \text{ и } l_Y = \sin\alpha.$$

Если обеспечить поворот диска на угол, равный дирекционному углу, то с помощью такого механического устройства можно непрерывно вычислять тригонометрические функции $\sin\alpha$ и $\cos\alpha$ дирекционного угла движущегося объекта. Действительно, в этом случае линейные перемещения кареток будут соответственно пропорциональны $\sin\alpha$ и $\cos\alpha$.

Аналогичные линейные перемещения можно получить, если каретки расположить параллельно и соединить их с диском при помощи отдельных пальцев, установленных относительно центра диска под углом 90°.

Каретки обычно механически связывают с множительными механизмами, вводя тем самым в последние вычисленные значения $\sin\alpha$ и $\cos\alpha$.

Множительные механизмы (ММ) предназначены для вычисления приращений прямоугольных координат ΔX и ΔY, т. е. для умножения приращений пути на синус или косинус дирекционного угла. Часто множительные механизмы выполняются в виде механических фрикционных устройств.

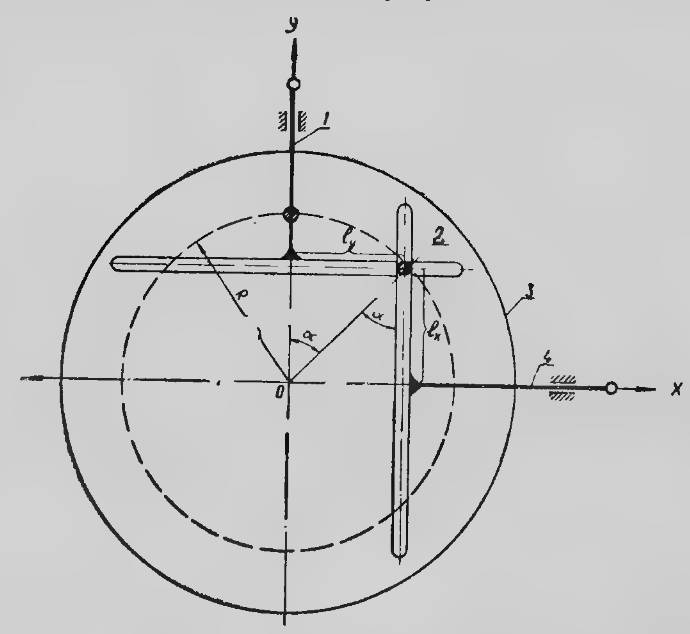


Рис. 6.5. Кинематическая схема синусно-косинусного построителя

На рис. 6.6 показана принципиальная схема множительного механизма, состоящего из плоского диска *1*, цилиндрического валика *2* и подвижного шарика *3*. Если плоский диск вращается от датчика пути *ДП*, а шарик *3* (рис. 6.6, *а*) перемещается по диску кареткой *4* (рис. 6.5) синусно-косинусного построителя, то при повороте диска *1* (рис. 6.6) на угол $\Delta\beta = c_1 \cdot \Delta S$, а диска СКП на угол α цилиндрический валик *2* повернется на угол

$$\Delta\beta_x = \Delta\beta \frac{\rho_x}{r_в} = c_1 \Delta S \frac{\cos\alpha}{r_в} = c\Delta S \cos\alpha = c\Delta X,$$

где $r_в$ — радиус валика;

ρ_x — радиус вращения шарика.

Аналогично для множительного механизма, шарик *3* которого перемещается кареткой *1* (рис. 6.5):

$$\Delta\beta_y = \Delta\beta \frac{\rho_y}{r_в} = c_1 \Delta S \frac{\sin\alpha}{r_в} = c\Delta S \sin\alpha = c\Delta Y.$$

Таким образом, угол поворота цилиндрического валика *3* множительного механизма пропорционален произведению приращения пути на соответствующую тригонометрическую функцию дирекционного угла, т. е. пропорционален приращению ΔX или ΔY соответствующей прямоугольной координаты.

Знак приращения прямоугольной координаты определяется тригонометрической функцией дирекционного угла α. Если шарик находится в центре диска ($\cos\alpha$ или $\sin\alpha$ равен нулю), то валик *2* будет неподвижен (рис. 6.6, *б*). При перемещении шарика вправо валик *2* будет поворачиваться в направлении, указанном на рис. 6.6, *а*. Перемещение шарика влево (в результате изменения дирекционного угла) приводит к изменению направления вращения валика *2* (рис. 6.6, *в*).

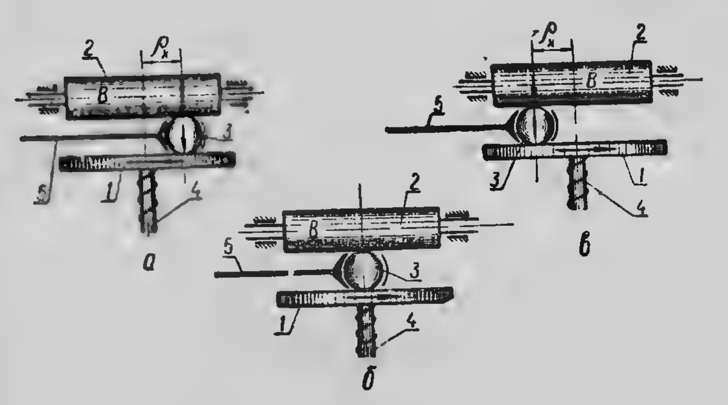


Рис. 6.6. Кинематическая схема множительного механизма

Множительные механизмы, применяемые в ННА, имеют одинаковый принцип действия и могут отличаться только конструктивными особенностями.

Вычисленные значения приращений координат (поворот цилиндрических валиков множительных механизмов) вводятся в сумматоры (счетчики координат).

Сумматоры (счетчики координат) предназначены для суммирования приращений координат с их начальными значениями, введенными вручную, т. е. для вычисления текущих координат.

Сумматоры C_X и C_Y (рис. 6.2) представляют собой механические счетчики барабанного или шкального типа.

При суммировании приращений координат с их начальными значениями в счетчиках барабанного типа вращаются барабаны, снабженные цифрами, а в счетчиках шкального типа вращаются стрелки.

Для установки начальных координат сумматоры снабжаются специальным устройством, позволяющим поворачивать барабаны счетчиков или стрелки вручную при подготовке аппаратуры к работе.

Навигационная аппаратура, предназначенная для одновременного вычерчивания на топографической карте маршрута движения

объекта, снабжается построителем курса — механическим устройством, перемещающим карандаш по карте в соответствии с изменением координат объекта.

§ 6.4. ТАНКОВАЯ НАВИГАЦИОННАЯ АППАРАТУРА

Танковая навигационная аппаратура (ТНА) предназначена для непрерывного автоматического определения координат положения движущегося объекта и указания курса (направления) его движения.

Комплект этой навигационной аппаратуры включает следующие конструктивные узлы: датчик пути, датчик курса, координатор, указатели курса, пульт управления и преобразователь тока ПТ-200Ц.

Объект, в котором устанавливается аппаратура, снабжается специальным ЗИП, буссолью, а также оптическим угломерным (визирным) устройством.

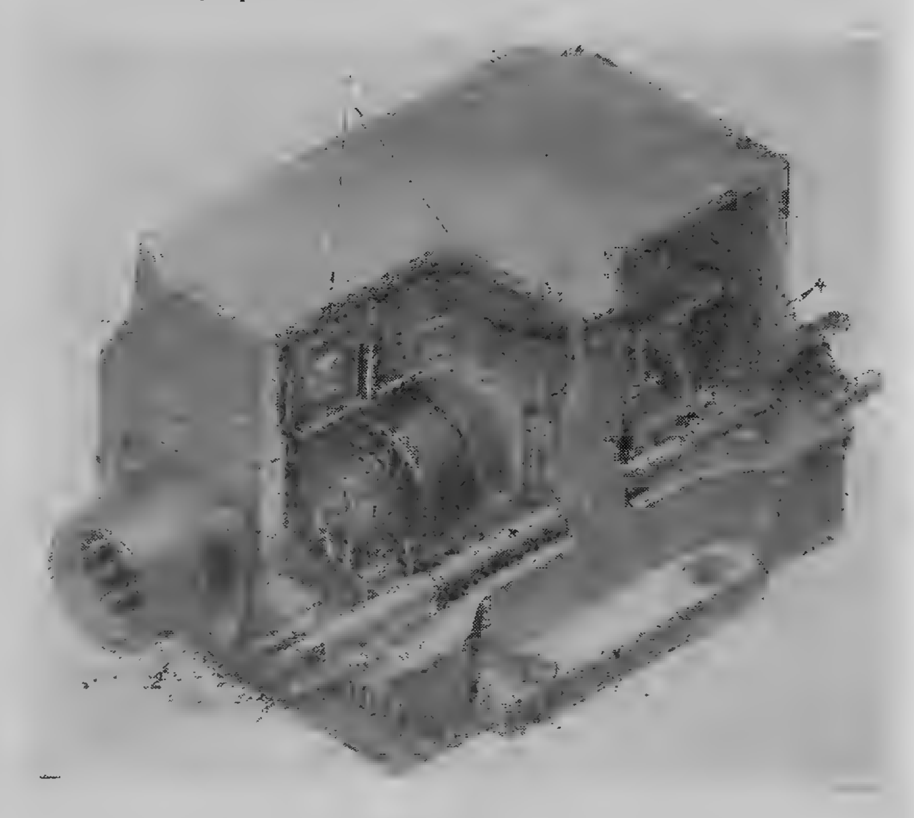


Рис. 6.7. Датчик пути:
1 — сквозной валик; *2* — сельсин-датчик; *3* — трансформаторы; *4* — редукторы

Датчик пути (рис. 6.7) предназначен для непрерывного измерения приращения пути и преобразования его в электрический сигнал, передаваемый в координатор.

В корпусе датчика пути установлены: редуктор *4*, сельсин-датчик *2* и два трансформатора *3* (Тр1 и Тр2) соответственно для питания сельсинов дистанционных передач пути и курса.

Сквозной валик *1* датчика пути соединяется гибким валиком с бортовой передачей машины. К другому концу валика присоединен гибкий валик привода спидометра.

Датчик пути гибким валиком соединяется с ходовой частью объекта — бортовой передачей или ведомым колесом.

Дистанционная передача пути выполнена на двух сельсинах (рис. 6.8): сельсине-датчике $СД_S$, расположенном в датчике пути, и сельсине-приемнике $СП_S$, находящемся в координаторе.

Сельсины работают в режиме синхронной передачи угла, пропорционального пути, проходимому объектом: за каждые 1,6 *м* проходимого объектом пути ротор сельсина-датчика, а следовательно, и ротор сельсина-приемника поворачиваются на один оборот.

При движении машины валик *1* (рис. 6.7) вращается и через редуктор *4* поворачивает ротор *2* сельсина-датчика $СД_S$. Синхронно с ним будет вращаться ротор сельсина-приемника $СП_S$, установленного в координаторе.

Вращение ротора сельсина-приемника $СП_S$ (рис. 6.8) дистанционной передачи пути через соответствующие редукторы передается диску множительного механизма, установленного в координаторе.

Датчик курса (рис. 6.9 и 6.10) предназначен для непрерывного измерения дирекционного угла (курса) движения объекта и его преобразования в электрический сигнал, передаваемый в координатор. Передача измеренного дирекционного угла в координатор дистанционная. Эта передача выполнена на двух сельсинах: сельсине-датчике *3* ($СД_\alpha$), встроенном в датчик курса, и сельсине-приемнике $СП_\alpha$, установленном в координаторе.

Сельсины дистанционной передачи дирекционного угла работают в трансформаторном режиме.

Корпус датчика курса закреплен на объекте, и при измерении направления (курса) движения объекта корпус датчика поворачивается заодно с объектом.

В этой системе в качестве датчика курса применен гирополукомпас, включающий следующие основные узлы и вспомогательные устройства:

— трехстепенный гироскоп;
— сельсин-датчик дистанционной передачи дирекционного угла;
— корректирующее устройство;
— горизонтирующее устройство;
— устройства для установки исходного дирекционного угла объекта;

Рис. 6.8. Принципиальная электрическая схема танковой навигационной аппаратуры

— термокомпенсатор.

Трехстепенный гироскоп датчика курса (рис. 6.9) для повышения устойчивости (сохранения направления главной оси при движении неизменным и тем самым увеличения точности работы аппаратуры) имеет сдвоенный гиромотор *1* (ГМ): маховик (ротор) гиромотора приводится во вращение двумя трехфазными асинхронными двигателями обращенного типа с короткозамкнутыми роторами, установленными соосно.

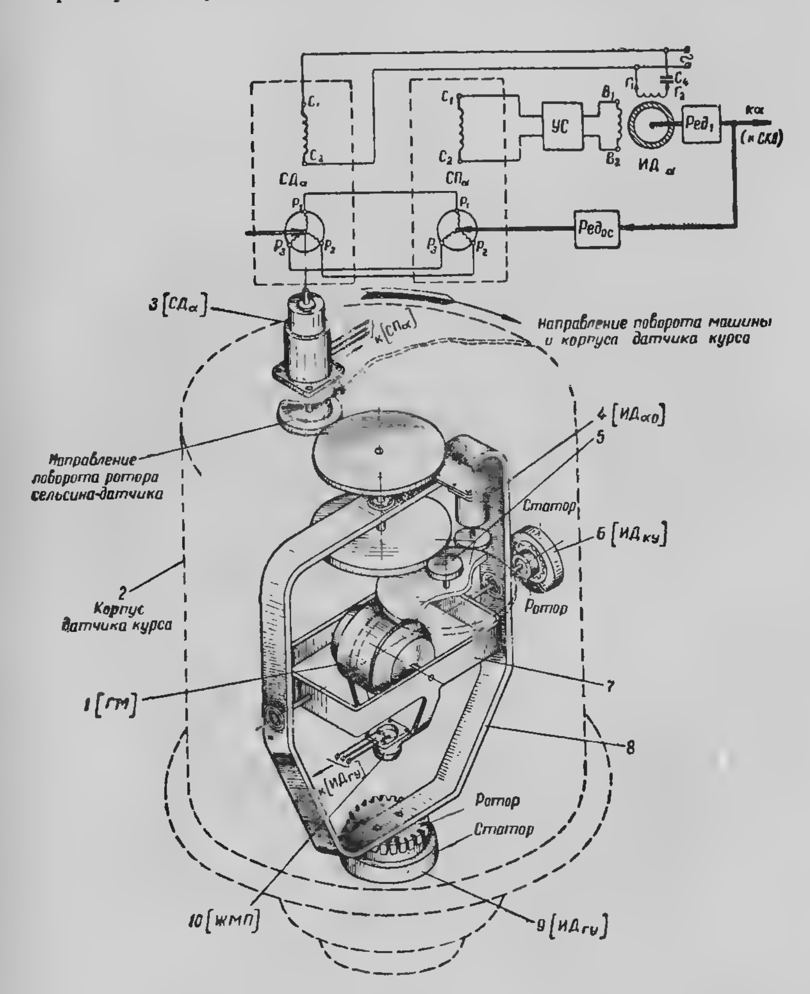


Рис. 6.9. Кинематическая схема датчика курса и электрическая схема дистанционной передачи дирекционного угла и ее следящей системы:

1 — гиромотор; *2* — корпус; *3* — сельсин-датчик дистанционной передачи дирекционного угла; *4* — исполнительный двигатель для установки исходного дирекционного угла (разворота ротора сельсина-датчика); *5* — редуктор; *6* — исполнительный двигатель корректирующего устройства; *7* — внутренняя рамка гироскопа; *8* — наружная рамка гироскопа; *9* — исполнительный двигатель горизонтирующего устройства; *10* — жидкостный маятниковый переключатель горизонтирующего устройства

Гиромотор питается переменным током (36 *в*, 400 *гц*) от преобразователя ПТ-200Ц.

Время разгона гиромотора до номинальных оборотов (около 22 000 *об/мин*) — 10—12 *мин.*

В нижней части гирокамеры — внутренней рамки гироскопа установлен жидкостный маятниковый переключатель *10* (ЖМП), являющийся чувствительным элементом горизонтирующего устройства.

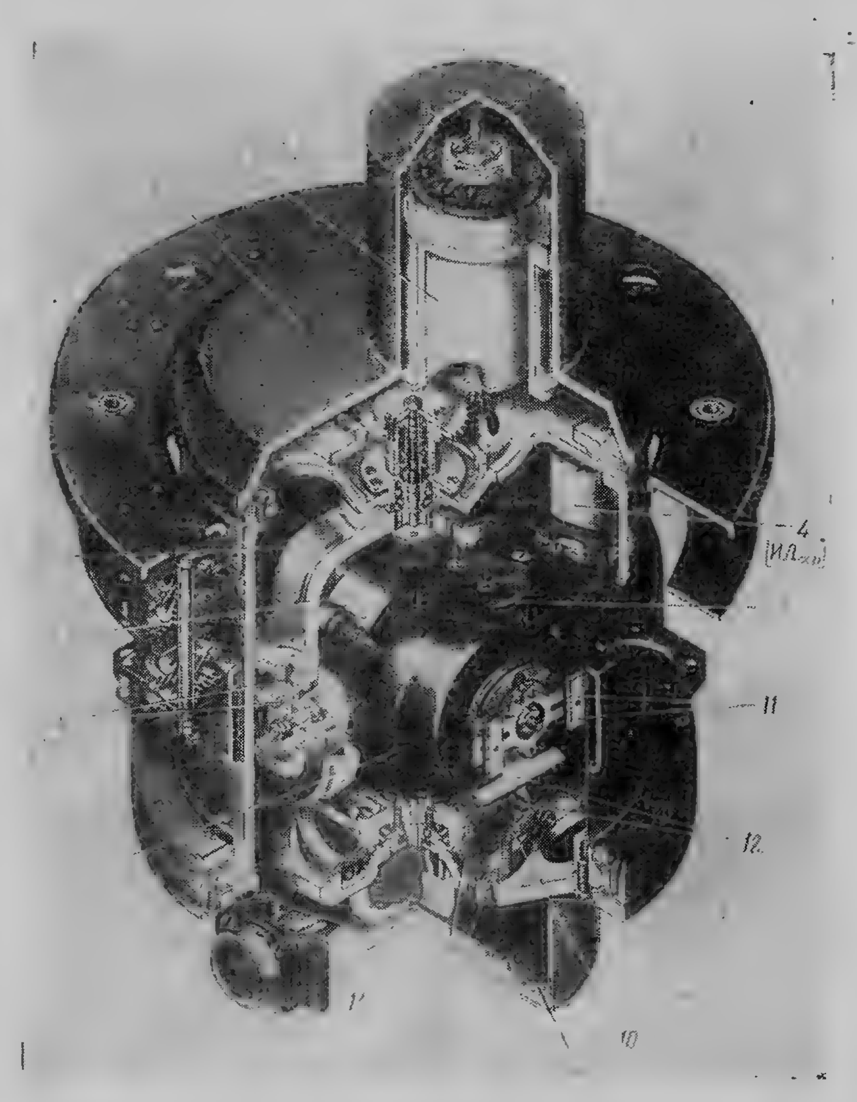


Рис. 6.10. Датчик курса (обозначения *1—10* те же, что на рис. 6.9):
11 — термокомпенсатор; *12* — упор; *13* — пробка; *14* — вращающееся контактное устройство

На крышке внутренней рамки установлен термокомпенсатор *11* (рис. 6.10).

Гирокамера установлена в наружной рамке *8* (рис. 6.9) гироскопа на подшипниках. Для смягчения ударов наружной рамки по гирокамере при движении машины с выключенной системой предусмотрен двусторонний упор *12* (рис. 6.10), снабженный амортизирующими пружинами, расположенными с обеих сторон.

На оси внутренней рамки (гирокамеры) закреплен ротор исполнительного двигателя *6* (рис. 6.9) корректирующего устройства $ИД_{к.у}$, а его статор связан с наружной рамкой *8* гироскопа.

Наружная рамка гироскопа установлена в корпусе прибора на подшипниках и при работающем гироскопе не поворачивается относительно своей вертикальной оси.

Сельсин-датчик *3* дирекционного угла $СД_{\alpha}$ расположен в цилиндрическом приливе верхней части корпуса датчика курса.

Статор сельсина-датчика закреплен в корпусе датчика курса, а его ротор через шестеренчатый редуктор *5* и исполнительный двигатель *4* устройства для установки исходного дирекционного угла $ИД_{\alpha_0}$ соединен с наружной рамкой *8* гироскопа.

Обмотка возбуждения сельсина-датчика $СД_{\alpha}$ питается от преобразователя. Обмотки ротора этого сельсина соединены с обмотками ротора сельсина-приемника $СП_{\alpha}$, установленного в координаторе.

Устройство для установки исходного дирекционного угла объекта состоит из малогабаритного исполнительного двигателя *4* и понижающего редуктора *5* с большим передаточным отношением (i=10584).

Управление этим двигателем (двухступенчатое регулирование скорости вращения и изменение направления вращения) осуществляется специальным переключателем «Установка курса» и контактным датчиком $КД_{\alpha_0}$, расположенными в координаторе (рис. 6.12).

При включении двигателя *4* (рис. 6.9) его момент передается через редуктор и приводит во вращение т о л ь к о р о т о р сельсина-датчика *3*, не оказывая при этом воздействия на наружную рамку гироскопа и тем самым исключая возможность прецессии его внутренней рамки (завала главной оси гироскопа).

При повороте ротора сельсина-датчика *3* приборы и аппараты системы будут отрабатывать возникший сигнал управления, а стрелки на шкалах указателей курса будут приближаться к соответствующему значению исходного дирекционного угла объекта.

Большое передаточное отношение этого редуктора делает его необратимым, т. е. исключающим возможность передачи вращения в обратном направлении (от ротора сельсина-датчика к ротору двигателя). Благодаря этому обеспечивается жесткая связь выходной шестерни редуктора (шестерни, находящейся в зацеплении с шестерней ротора сельсина) с наружной рамкой гироскопа, необходимая для точного измерения дирекционного угла.

Корректирующее устройство состоит из многополюсного моментного исполнительного двигателя *6*, расположенного на горизонтальной оси внутренней рамки гироскопа, и двух потенциометров, установленных в пульте управления (рис. 6.17),— потенциометра широтной балансировки и поправочного потенциометра.

Двигатель 6 (рис. 6.9) предназначен для создания внешнего момента, прилагаемого к оси внутренней рамки гироскопа. Для этого ротор двигателя *6* закреплен на горизонтальной оси внутренней рамки (гирокамеры) гироскопа, а статор — на наружной рамке.

Статор двигателя имеет две обмотки: постоянно включенную обмотку возбуждения *ОВ* и управляющую обмотку *ОУ*, включенную в диагональ моста, образованного сопротивлениями (R1 — R4). Перемещением движков потенциометра широтной балансировки R1 и поправочного потенциометра R2 регулируется напряжение на управляющей обмотке *ОУ* двигателя $ИД_{к.у}$, а следовательно, знак и величина его момента. Это устройство работает следующим образом.

Момент двигателя *6*, приложенный к оси внутренней рамки *7*, вызывает прецессию наружной рамки *8*, т. е. поворачивает гироскоп вокруг вертикальной оси (по азимуту) в направлении, соответствующем вращению Земли. Скорость поворота оси наружной рамки (скорость прецессии) регулируется в зависимости от широты места.

Компенсация ухода гироскопа на данной географической широте производится потенциометрами широтной балансировки R1 и R2 (рис. 6.8). При перемещении движков потенциометров R1 и R2 изменяется момент двигателя $ИД_{к.у}$, а следовательно, и скорость прецессии наружной рамки гироскопа. Шкала потенциометра R1 (рис. 6.17) проградуирована в географических градусах (0—90°). Поправочный потенциометр R2 со шкалой, градуированной в условных делениях, служит для уточнения балансировки в процессе эксплуатации.

Горизонтирующее устройство (рис. 6.9) состоит из жидкостного маятникового переключателя *10* (ЖМП), закрепленного на нижней части гирокамеры, и двухфазного асинхронного моментного исполнительного двигателя *9*, установленного внизу вертикальной оси наружной рамки гироскопа.

Жидкостный маятниковый переключатель является чувствительным элементом этого устройства, реагирующим на величину и направление отклонения главной оси гироскопа от плоскости горизонта, и предназначен для управления двигателем *9*.

Двигатель *9* является исполнительным элементом горизонтирующего устройства. Он предназначен для создания внешнего момента, прилагаемого к наружной рамке гироскопа и обеспечивающего удержание главной оси гироскопа в плоскости горизонта. Для этого ротор электродвигателя *9* жестко закреплен на оси наружной рамки *8*, а статор — на нижней крышке корпуса датчика курса.

Статор этого двигателя выполнен в виде «беличьего колеса», а ротор имеет три обмотки: одну обмотку возбуждения *ОВ* и две управляющие обмотки *ОУ*, включенные встречно (рис. 6.8). Обмотка возбуждения подключена к двум фазам преобразователя непосредственно, а управляющие обмотки подключаются к этим же двум фазам через жидкостный маятниковый переключатель (ЖМП).

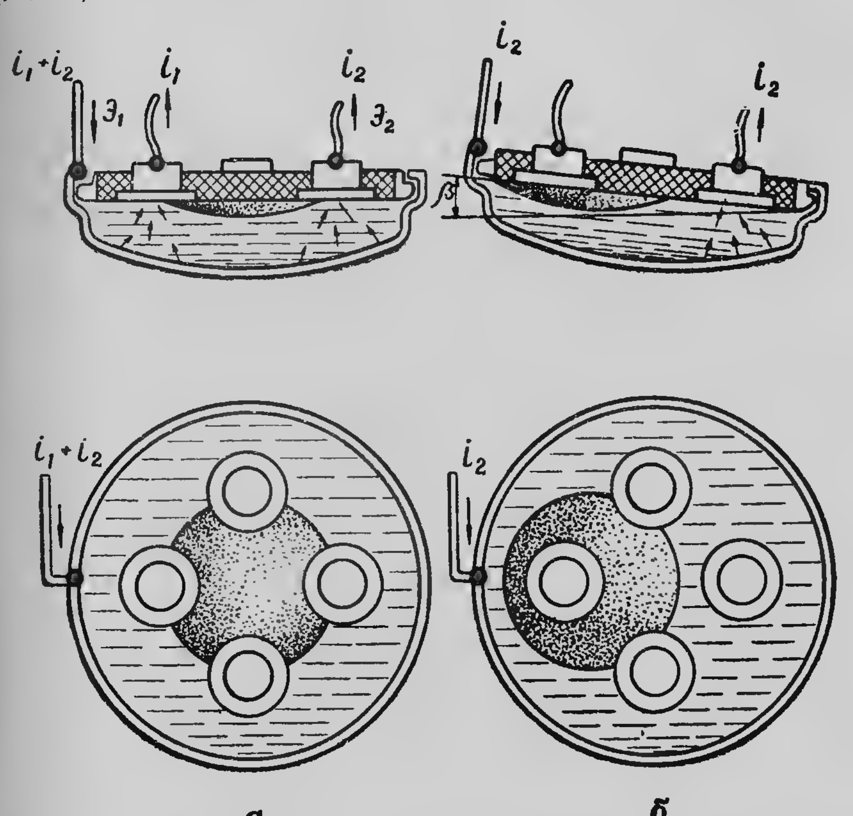


Рис. 6.11. Схема работы жидкостного маятникового переключателя:
а — при горизонтальном положении объекта; *б* — при боковом крене на правый борт

Жидкостный маятниковый переключатель (рис. 6.11) состоит из медного герметического сосуда, частично заполненного токопроводящей жидкостью (электролитом), и крышки, в которой закреплены электроды с контактами, изолированными от сосуда. Корпус сосуда соединен с одной фазой преобразователя (рис. 6.8), а два (из четырех) его контакта — с управляющими обмотками двигателя.

Горизонтирующее устройство работает следующим образом.

При горизонтальном положении объекта (рис. 6.11, *а*), когда пузырек воздуха находится в центре сосуда переключателя, площадь контакта электролита с каждым из электродов $Э_1$ и $Э_2$ одинакова, следовательно, равны сопротивления цепей обеих управляющих обмоток и токи в них ($i_1 = i_2$). Так как эти обмотки включены встречно, то их действие при равных токах будет взаимно компенсировано, а момент, развиваемый двигателем, равен нулю.

При отклонении переключателя от горизонтального положения на угол β (рис. 6.11, *б*) воздушный пузырек смещается из центра сосуда в сторону, противоположную наклону. Площадь контакта электролита с одним из электродов увеличивается до максимума, а площадь контакта с другим уменьшается до нуля. При этом сопротивление цепи одной управляющей обмотки уменьшается, а сопротивление цепи другой обмотки возрастает.

Вследствие такого изменения сопротивлений этих цепей в управляющих обмотках протекают токи различной величины. При этом двигатель развивает момент, приложенный к оси наружной рамки и вызывающий прецессию внутренней рамки гироскопа в направлении, обеспечивающем возвращение главной оси гироскопа, а также жидкостного переключателя в горизонтальное положение.

При изменении направления наклона действие управляющих обмоток становится обратным, вследствие чего изменяются знак момента двигателя и направление прецессии внутренней рамки гироскопа. Благодаря этому главная ось гироскопа удерживается в плоскости горизонта.

Термокомпенсатор предназначен для сохранения положения центра тяжести гироскопа (ротора и гирокамеры) при изменении температуры окружающей среды в пределах 50—60° С.

Применение термокомпенсатора вызвано тем, что при нагреве центр тяжести гироскопа смещается относительно точки пересечения осей внутренней и наружных рамок. При этом возникает момент, вызывающий прецессию наружной рамки, а следовательно, и отклонение главной оси гироскопа от заданного направления.

Термокомпенсатор *11* (рис. 6.10) состоит из биметаллической пластины и грузов, закрепленных на ее концах.

Биметаллическая пластина состоит из двух слоев металлов (стали и инвара), резко отличающихся коэффициентами температурного расширения, соединенных между собой сваркой. Поэтому такая пластина при нагреве изгибается в сторону слоя металла, имеющего меньший коэффициент температурного расширения (инвар), и, перемещая при этом грузы в сторону, противоположную смещению центра тяжести гироскопа, создает компенсирующий момент. Вследствие этого положение центра тяжести гироскопа при изменении температуры в определенных пределах сохраняется практически неизменным.

Работа датчика курса. Благодаря свойству устойчивости трехстепенного гироскопа и наличию специальных вспомогательных устройств его главная ось при движении объекта сохраняет свое начальное направление относительно земных ориентиров неизменным. Поэтому наружная рамка, а также и шестерня привода к ротору сельсина-датчика, связанная с ней через необратимый редуктор, относительно вертикальной оси поворачиваться не будут.

При неподвижном положении этой шестерни поворот машины (в направлении, показанном на рис. 6.9 стрелкой) и связанного с ней корпуса *2* датчика курса будет сопровождаться обкатыванием шестерни, закрепленной на оси ротора сельсина-датчика *3*, по неподвижной шестерне, а следовательно, и поворотом ротора этого сельсина относительно статора (в направлении, показанном стрелкой на шестерне ротора).

В этом случае между роторами сельсинов ($СД_\alpha$ и $СП_\alpha$) дистанционной передачи дирекционного угла возникнет рассогласование, а в обмотке статора сельсина-приемника $СП_\alpha$, установленного в координаторе, возникнет сигнал, амплитуда которого пропорциональна углу поворота машины, а фаза соответствует направлению ее поворота.

Для повышения точности измерения дирекционного угла привод от шестерни наружной рамки к шестерне ротора сельсина-датчика выполнен с повышающим передаточным отношением 2 : 1. Поэтому при повороте объекта на угол α ротор сельсина-датчика повернется на угол 2α, следовательно, напряжение, возникающее при этом в сельсине-приемнике, будет пропорционально удвоенному углу поворота объекта.

Сигнал выхода усилителя (рис. 6.8) приводит в действие исполнительный двигатель $ИД_\alpha$ следящей системы передачи дирекционного угла, который, отрабатывая рассогласование, устанавливает ротор сельсина-приемника в согласованное положение с ротором сельсина-датчика, а также поворачивает диск синусно-косинусного построителя (рис. 6.13); тем самым измеренный дирекционный угол α вводится в синусно-косинусный построитель.

Таким образом, датчик курса производит измерение дирекционного угла объекта и с помощью следящей системы вводит его в синусно-косинусный построитель, установленный в координаторе.

Координатор (рис. 6.12) является узлом, в котором размещены все вычислительные механизмы системы, а также устройства для подготовки системы к работе.

Координатор предназначен:

— для непрерывного автоматического вычисления текущих координат и дирекционного угла объекта и передачи его на два указателя курса при движении объекта;

— для установки начальных исходных данных: начальных координат X_0 и Y_0 исходного дирекционного угла $\alpha_{исх}$, а также ввода корректуры пути при подготовке системы к работе перед началом марша.

На лицевой панели координатора (рис. 6.12 и 6.13) расположены: шкалы *5* и *7* отсчета координат *Y* и *X* счетчика координат, шкалы *8* и *9* точного и грубого отсчета дирекционного угла (под надписью «Курс») и шкала *10* корректуры пути.

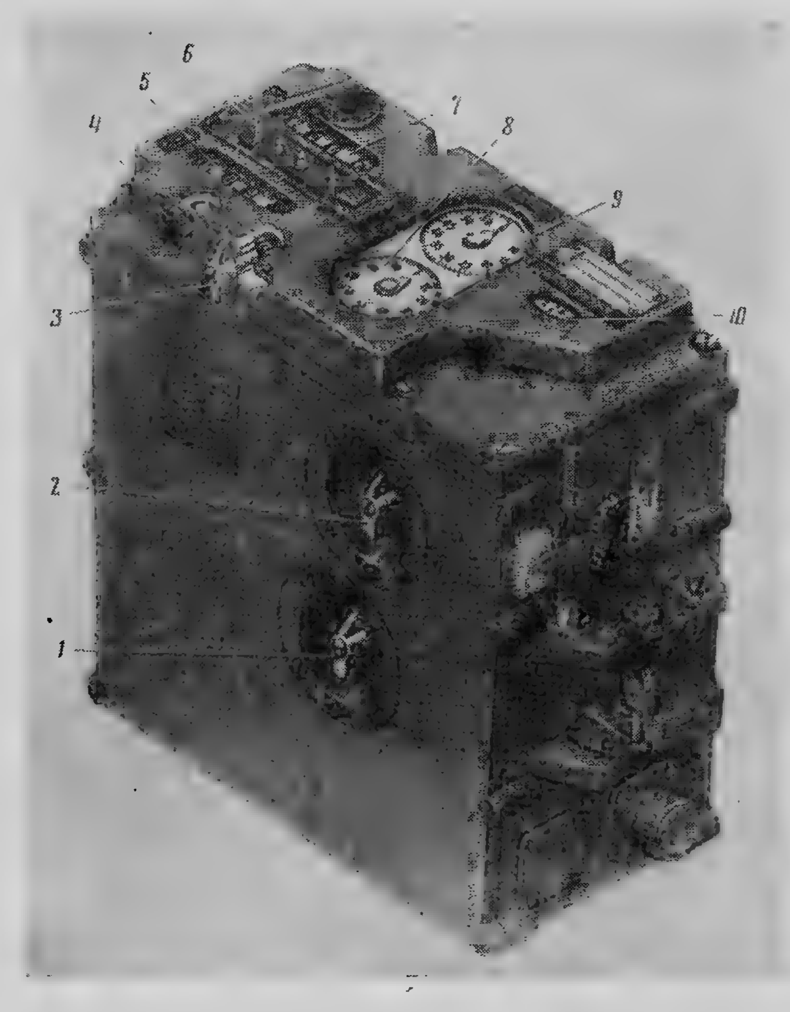


Рис. 6.12. Координатор (внешний вид):

1 — рукоятка установки курса; *2* — рукоятка корректуры пути; *3* — переключатель координат; *4* — лампа подсветки; *5* и *7* — шкалы координат *У* и *X*; *6* — кнопки установки начальных координат; *8* и *9* — шкалы точного и грубого отсчета дирекционного угла; *10* — шкала корректуры пути

Установка начальных координат (поворот барабанов в счетчиках) производится нажатием на кнопки *6* при предварительно повернутой в направлении соответствующей координаты ручке механического переключателя *3* «Установка координат». При нажатии кнопки поворачивается соответствующий барабан механизма счетчика координат.

На нижней крышке корпуса координатора расположена рукоятка *1* для установки исходного дирекционного угла (курса) и рукоятка *2* для установки корректуры пути.

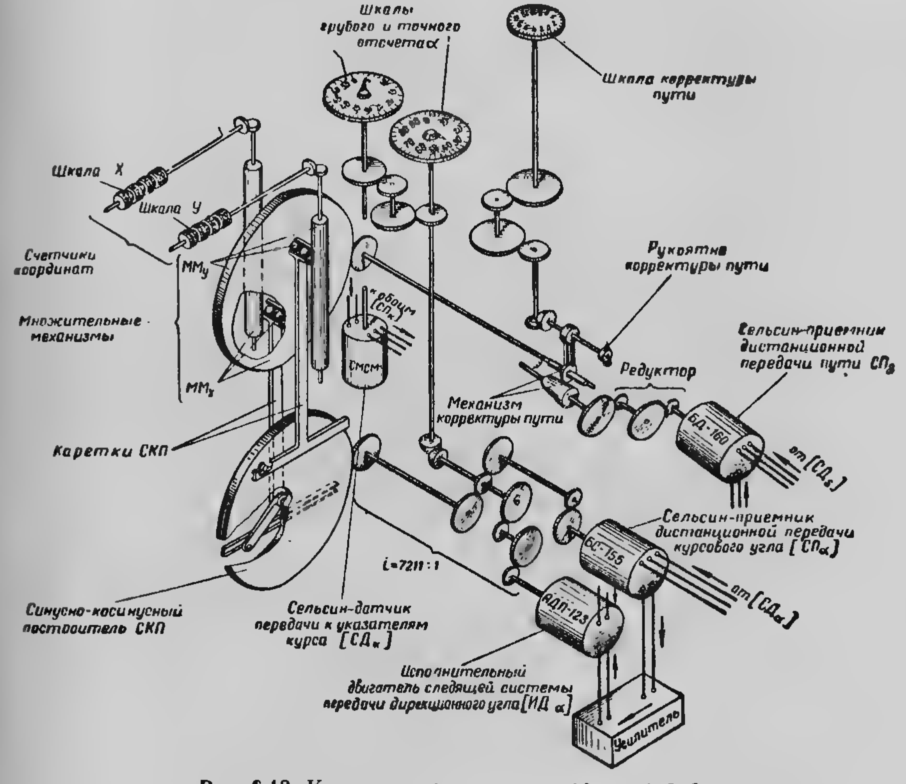


Рис. 6.13. Кинематическая схема координатора

Установка исходного дирекционного угла. При повороте рукоятки контактного датчика $КД_{\alpha_0}$ (рис. 6.14) обмотки управления двигателя $ИД_{\alpha_0}$ (рис. 6.8) присоединяются к одной из фаз генератора, ротор двигателя начинает вращаться и через редуктор поворачивает в соответствующую сторону ротор сельсина-датчика $СД_{\alpha}$. При этом стрелки на шкалах *8* и *9* (рис. 6.12) грубого и точного отсчета курса в координаторе (и в указателях курса) указывают устанавливаемый исходный угол. Цена оборота стрелки грубого отсчета дирекционного угла 60-00 делений угломера (цена одного деления шкалы 1-00); цена оборота стрелки точного отсчета 1-00 (цена одного деления шкалы 0-01). Реверсирование этого двигателя осуществляется изменением

фазы напряжения, подводимого к его обмотке управления через контактный датчик $КД_{\alpha_0}$ (рис. 6.8) (переключением фазы), а двухступенчатое регулирование скорости — включением и закорачиванием сопротивлений R14 и R15.

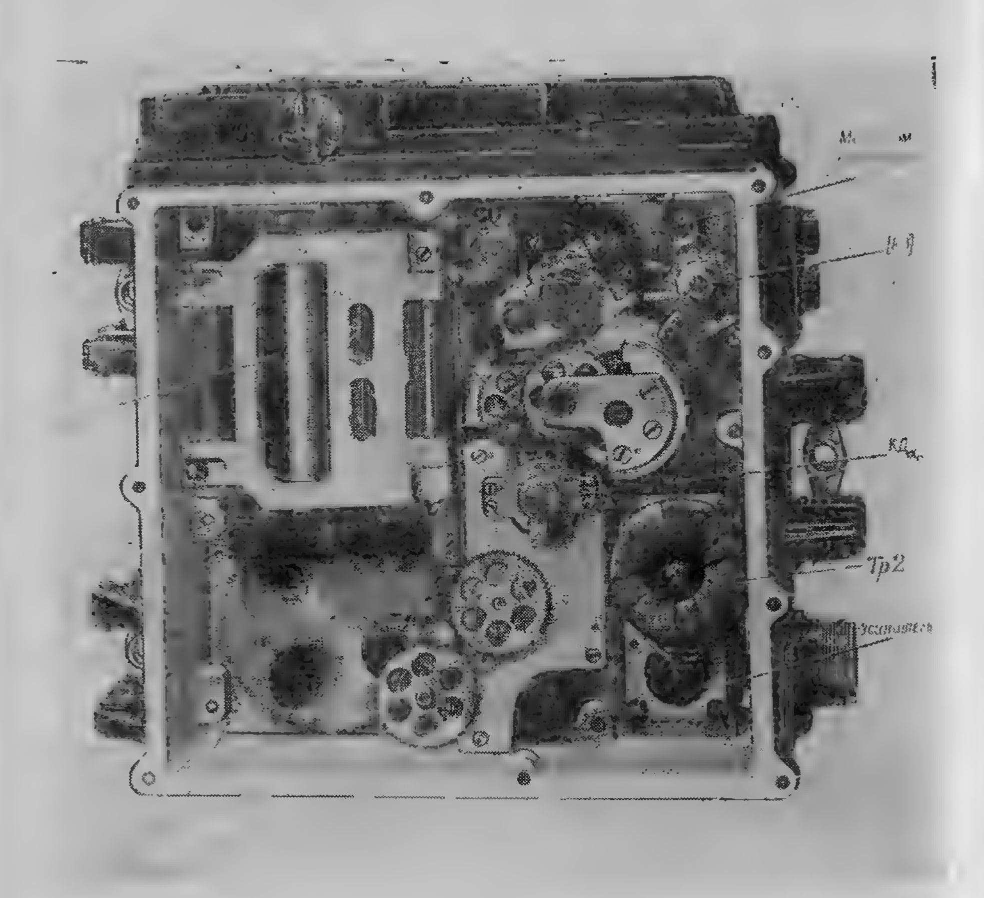


Рис. 6.14. Размещение элементов системы в корпусе координатора (передняя крышка снята):

$ММ_У$ — множительный механизм координаты $У$; R13 — регулировочный потенциометр усилителя; $КД_{\alpha_0}$ — контактный датчик установки исходного дирекционного угла объекта; Тр2 — выходной трансформатор усилителя, питающий обмотку управления исполнительного двигателя следящей системы ($ИД_\alpha$)

Установка корректуры пути производится поворотом рукоятки *2* (рис. 6.12) «Корректура пути», которая имеет десять фиксированных положений.

В корпус координатора установлены сельсин-приемник $СП_S$ дистанционной передачи пути, сельсин-приемник $СП_\alpha$ дистанционной передачи дирекционного угла и элементы следящей системы

этой передачи, а также вычислительные механизмы аппаратуры (рис. 6.13):

— множительные механизмы координат X — $ММ_x$ и координаты Y — $ММ_y$;

— синусно-косинусный построитель;

— сумматоры — счетчики координат;

— механизм корректуры пути.

Множительные механизмы $ММ_x$ и $ММ_y$ (рис. 6.13—6.15) для уменьшения габаритов выполнены в одном блоке и имеют

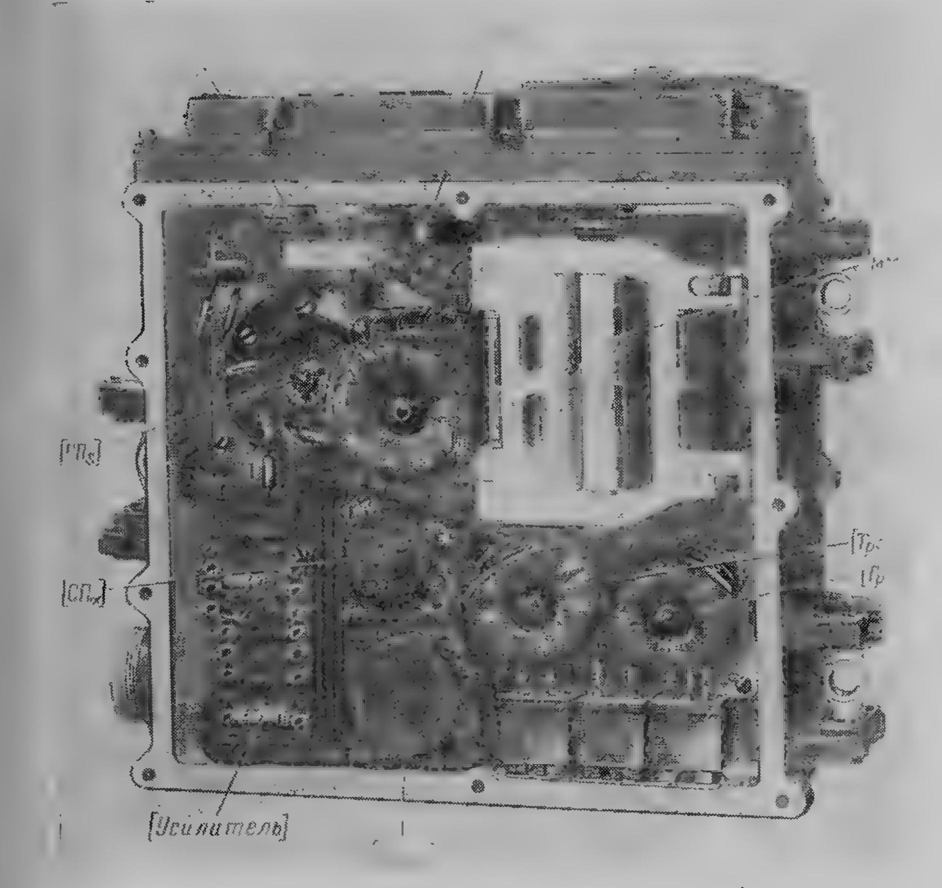


Рис. 6.15. Размещение элементов системы в координаторе (задняя крышка снята):

Тр4 — трансформатор питания обмотки статора сельсина-приемника дистанционной передачи пути; ($СП_S$); $СД_к$ — сельсин-датчик дистанционной передачи к двум указателям курса: $ММ_x$ — множительный механизм координаты X; Тр3 — трансформатор питания обмотки возбуждения исполнительного двигателя следящей системы передачи дирекционного угла ($ИД_\alpha$); Тр5 — трансформатор питания обмоток возбуждения сельсина-датчика ($СД_к$) и сельсина-приемника ($СП_к$), указателя курса, дублирующего показания указателя координатора; $ИД_\alpha$ — исполнительный двигатель следящей системы передачи дирекционного угла; $СП_S$ — сельсин-приемник дистанционной передачи пути

один общий для механизмов диск. С обеих сторон диска расположены шарики, перемещаемые каретками синусно-косинусного построителя и передающие вращения от диска к валикам, соединенным со счетчиками координат X и Y.

Общий диск механизмов через механизм корректуры и редуктор соединен с сельсином-приемником дистанционной передачи приращений пути $СП_S$.

При вращении ротора этого сельсина диск будет вращаться и тем самым в оба множительных механизма одновременно будет вводиться приращение пути.

Применение двух шариков для передачи вращения от общего диска к валикам множительных механизмов имеет своей целью исключить скольжение при перемещении каретки с одним шариком, заменив его чистым качением.

Работа каждого из сдвоенных множительных механизмов этой системы, имеющих общий диск, не отличается от описанной ранее.

Вычисленные значения приращений координат (поворот цилиндрических валиков множительных механизмов) вводятся в сумматоры — счетчики координат.

Синусно-косинусный построитель (СКП) состоит из диска, двух пальцев, которые установлены относительно центра диска под углом 90°, и двух перемещаемых ими кареток, движущихся вдоль двух параллельных осей.

Диск через редукторы соединен с исполнительным двигателем следящей системы передачи дирекционного угла $ИД_\alpha$. При повороте ротора исполнительного двигателя вращается диск синусно-косинусного построителя и тем самым в него вводится дирекционный угол движения объекта.

При изменении курса движения машины ротор исполнительного двигателя поворачивает диск СКП, одна из кареток которого перемещается по закону изменения косинуса дирекционного угла, а другая — по закону изменения синуса этого угла. Перемещение кареток сопровождается перемещением шариков по диску множительных механизмов и тем самым в последние вводятся вычисленные в СКП тригонометрические функции дирекционного угла $\cos\alpha$ и $\sin\alpha$.

Следящая система передачи дирекционного угла предназначена для установки ротора сельсина-приемника $СП_\alpha$ в согласованное положение с ротором сельсина-датчика $СД_\alpha$ (устранения рассогласования) после отработки сигнала, возникающего при изменении дирекционного угла движения объекта.

Следящая система передачи дирекционного угла (рис. 6.13) включает:

— сельсин-приемник дистанционной передачи дирекционного угла $СП_\alpha$;

— исполнительный двигатель $ИД_\alpha$;

— усилитель сигнала управления исполнительным двигателем, выполненный на полупроводниках;

— редуктор обратной связи, соединяющий вал исполнительного двигателя этой передачи с ротором сельсина-приемника $СП_\alpha$. (Механическая обратная связь исполнительного двигателя $ИД_\alpha$ и сельсина-приемника $СП_\alpha$ на рис. 6.8 показана пунктиром.)

Усилитель предназначен для усиления маломощного сигнала рассогласования, поступающего на его вход с обмотки статора сельсина-приемника $СП_\alpha$, до величины, достаточной для приведения в действие исполнительного двигателя $ИД_\alpha$ следящей системы передачи дирекционного угла.

Усилитель состоит из следующих основных элементов:

— двухкаскадного усилителя напряжения переменного тока, выполненного на транзисторах Т1 и Т2;

— межкаскадного трансформатора Тр1;

— усилителя мощности, выполненного на транзисторах Т3 и Т4 (по двухтактной схеме);

— выходного трансформатора Тр2, ко вторичной обмотке которого через фазосдвигающий конденсатор С7 подсоединена обмотка управления $ОУ$ исполнительного двигателя $ИД_\alpha$.

Работа следящей системы передачи дирекционного угла.

При отсутствии рассогласования между роторами сельсинов ($СД_\alpha$ и $СП_\alpha$) — прямолинейном движении объекта — сигнал на входе в усилитель, а следовательно, и напряжение в обмотке управления $ОУ$ двигателя $ИД_\alpha$ равны нулю. Ротор двигателя неподвижен, так как наличие тока только в обмотке возбуждения $ОВ$ этого двигателя не вызывает его вращения.

При изменении дирекционного угла движения объекта ротор сельсина-датчика $СД_\alpha$, установленного в датчике курса, отклоняется от согласованного положения с ротором сельсина-приемника $СП_\alpha$, установленного в координаторе. При этом рассогласовании в обмотке статора сельсина-приемника $СП_\alpha$ возникает электрический сигнал, амплитуда которого пропорциональна величине угла рассогласования, а фаза соответствует его направлению. Этот сигнал усиливается в усилителе, вызывает появление напряжения соответствующей амплитуды и фазы в обмотке управления исполнительного двигателя следящей системы $ИД_\alpha$. Ротор исполнительного двигателя начинает вращаться, поворачивая ротор сельсина-приемника $СП_\alpha$ до тех пор, пока он не установится в согласованное положение с ротором сельсина-датчика, а сигнал станет равным нулю.

При отработке следящей системой этого рассогласования исполнительный двигатель $ИД_\alpha$ (рис. 6.13) выполняет следующую работу:

— поворачивает диск синусно-косинусного построителя на угол, соответствующий изменению дирекционного угла движения объекта;

— перемещает стрелки на шкалах грубого и точного отсчета дирекционного угла в координаторе;

— поворачивает ротор сельсина-датчика дистанционной передачи курса $СД_к$ от координатора к указателям курса и тем самым оба «Указателя курса» (рис. 6.8) дублируют показания указателя дирекционного угла координатора.

Аналогично работает эта система и при установке исходного дирекционного угла объекта. В этом случае рассогласование между роторами сельсинов $СД_\alpha$ и $СП_\alpha$ создается поворотом ротора сельсина-датчика $СД_\alpha$ исполнительным двигателем $ИД_{\alpha_0}$, управляемым контактным датчиком $КД_{\alpha_0}$, установленным в координаторе при повороте рукоятки «Установка курса».

Сумматоры (счетчики координат рис. 6.13) предназначены для суммирования приращений координат с начальными координатами, вычисления текущих координат, а также для установки начальных координат и указания их на шкалах.

При движении объекта приращения координат суммируются с установленными начальными координатами, что сопровождается поворотом барабанов счетчика, указывающих координаты местонахождения объекта в системе прямоугольных координат.

Сумматоры являются счетчиками барабанного типа, рассчитаны на 100 *км*. Цена полного оборота правого барабана с двузначными цифрами 100 *м*; цена полного оборота барабанов, расположенных слева от него (с однозначными цифрами), соответственно 1000, 10 000 и 100 000 *м*.

Механизм корректуры пути предназначен для внесения поправки, которая учитывает изменение дорожных условий: характер движения (буксование или юз) объекта, а также влияние рельефа местности. Механизм корректуры пути включен между сельсином-приемником передачи пути $СП_S$ и общим диском множительных механизмов. Механизм корректуры пути состоит из конического фрикционного редуктора, передаточное отношение которого (от конуса к ролику) изменяется плавно в пределах от +10 до —12% при перемещении ролика рукояткой *2* (рис. 6.12) «Корректура пути» из среднего положения в крайнее. Когда ролик находится в середине конуса (на его диаметре, равном диаметру ролика), передаточное отношение этого механизма равно единице.

При повороте этой рукоятки из одного фиксированного положения в другое коэффициент корректуры изменяется на 0,1%, что сопровождается соответствующим перемещением стрелки по шкале «Корректура пути».

Указатели курса (рис. 6.16) дублируют показания шкалы грубого отсчета дирекционного угла на координаторе для удобства их отсчета членами экипажа (механиком-водителем и командиром машины).

Система снабжена двумя одинаковыми указателями курса: один расположен перед механиком-водителем для вождения по заданному курсу, другой — перед командиром для контроля движения по карте.

В корпусе *1* указателя курса установлен сельсин-приемник $СП_к$, электрически связанный с сельсином-датчиком $СД_к$ координатора. Сельсины этой дистанционной передачи работают в режиме синхронной передачи угла. На оси ротора сельсина-приемника *6* $СП_к$ закреплена стрелка *2*, перемещающаяся относительно неподвижной шкалы *5*, разделенной на 120 делений. Цена каждого деления шкалы указателя 0-50 делений угломера (3°).

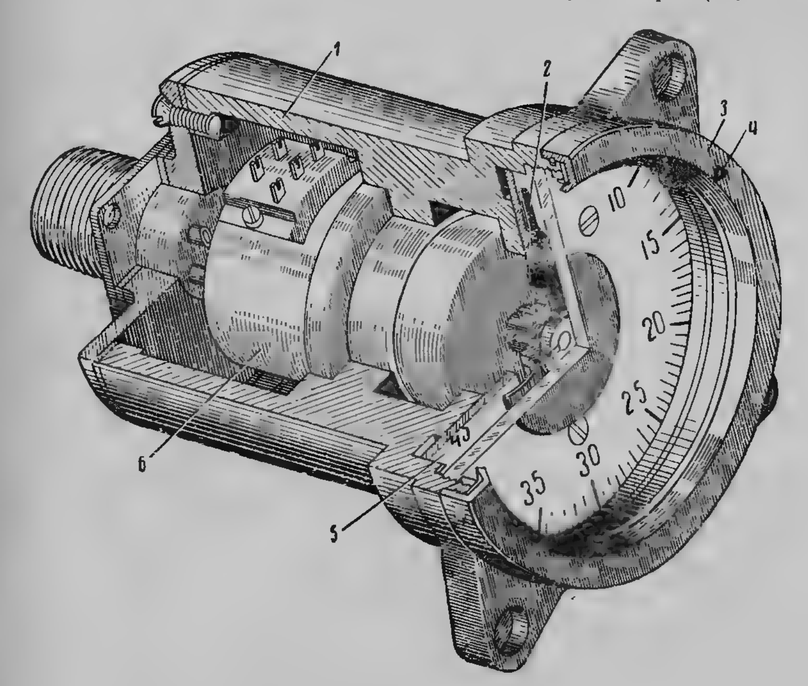


Рис. 6.16. Указатель курса:
1 — корпус; *2* — стрелка; *3* — подвижное кольцо; *4* — индекс; *5* — шкала; *6* — сельсин-приемник

На корпусе указателя установлено подвижное кольцо *3* с индексом (меткой) *4*. При повороте этого кольца вручную индекс может быть совмещен с заданным значением дирекционного угла движения объекта, благодаря чему исключается необходимость его запоминания.

Схема соединения обоих указателей курса с их общим датчиком и трансформаторами, питающими обмотки их статоров, показана на рис. 6.8.

Пульт управления (рис. 6.17) предназначен для включения и выключения системы, а также для широтной балансировки гироскопа (при перемещении объекта более чем на 5° географической широты — 500 *км* вдоль меридиана).

На лицевой панели пульта управления имеются:

— выключатель «Преобр.» для подключения к бортовой сети приводного двигателя преобразователя ПТ-200Ц, а также элементов системы, питаемых постоянным током;

— выключатель «Система» для подключения к генератору СГ преобразователя элементов системы, питаемых переменным током;

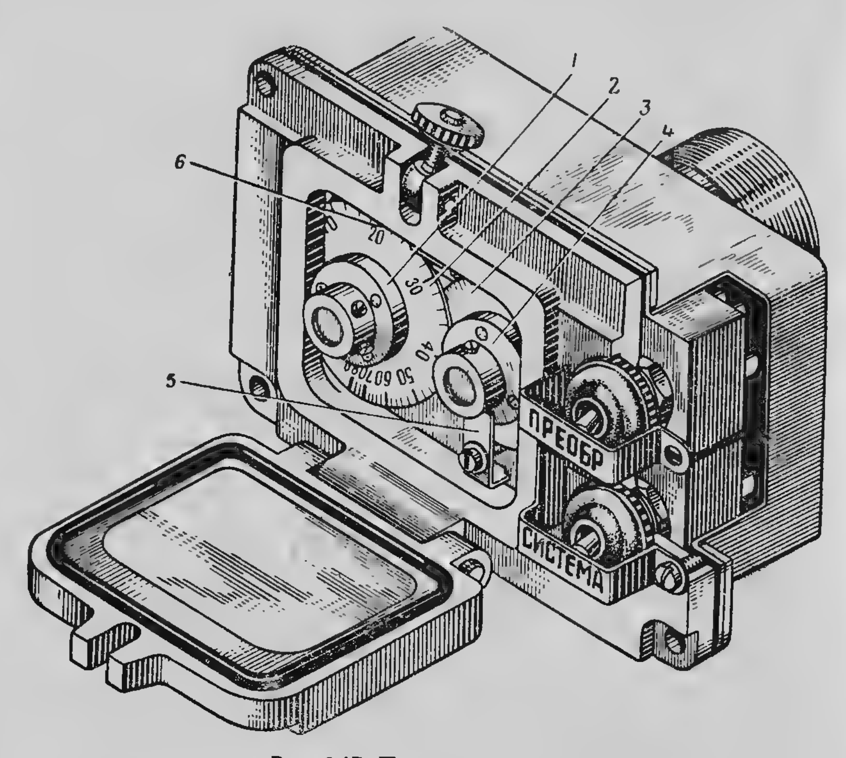


Рис. 6.17. Пульт управления:

1 — рукоятка потенциометра широтной балансировки (R1); *2* — шкала потенциометра широтной балансировки; *3* — шкала поправочного потенциометра; *4* — рукоятка поправочного потенциометра (R3); *5* — стопор поправочного потенциометра; *6* — указатель (индекс)

— рукоятка *1* потенциометра грубой регулировки широтной балансировки гироскопа, закрепленная заодно со шкалой *2* на оси его движка;

— рукоятка *4* поправочного потенциометра точной регулировки широтной балансировки гироскопа, закрепленная заодно со шкалой *3* на оси движка поправочного потенциометра.

Положение движка поправочного потенциометра фиксируется стопором *5*, а показания шкал обоих потенциометров — индексами *6*.

Потенциометры R1 и R2 (рис. 6.8) являются переменными плечами моста, к одной диагонали которого приложено напряжение

от двух фаз генератора, а с другой диагонали (движков потенциометров) снимается напряжение, подводимое к обмотке управления *ОУ* исполнительного двигателя корректирующего устройства $ИД_{к.у}$. Этот двигатель, как указывалось раньше, установлен на горизонтальной оси внутренней рамки гироскопа.

Шкала *2* (рис. 6.17) потенциометра широтной балансировки градуирована в градусах географической широты (0—90°) и устанавливается в положение, соответствующее широте местонахождения машины.

Шкала *3* поправочного потенциометра имеет условные деления. Поворотом шкалы этого потенциометра в сторону, соответствующую направлению ухода гироскопа, в движущейся машине (если средний уход превышает 20 делений угломера за 30 *мин* движения) производится корректировка широтной балансировки гироскопа.

Преобразователь тока ПТ-200Ц предназначен для преобразования постоянного тока бортовой сети танка в переменный ток напряжением 35 *в*, частотой 400 *гц*, которым питаются все потребители переменного тока системы.

Пуск преобразователя производится выключением «Преобр.», расположенным на пульте управления.

Угломерное устройство предназначено для определения угла между продольной осью машины и направлением на выбранный ориентир (угла визирования $\alpha_{виз}$).

Это устройство состоит из оптического прибора и двух шкал: отсчетной и основной.

Оптический прибор и отсчетная шкала закреплены на вращающейся башенке, а основная шкала — на ее неподвижном погоне.

При совпадении оптической оси прибора с направлением продольной оси машины нулевые деления шкал угломерного устройства совпадают.

При повороте башенки в направлении на выбранный ориентир нулевое деление отсчетной шкалы перемещается относительно неподвижной основной шкалы, что позволяет производить отсчет угла визирования.

Основная шкала разбита на 600 делений (цена деления 0-10), а отсчетная шкала — на 10 делений.

При отсчете показаний отсчетной шкалой пользуются как нониусом, что позволяет производить отсчет угла поворота башенки с точностью до 0-01.

§ 6.5. РАБОТА НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ

Для рассмотрения принципа работы этой системы в целом представим ранее рассмотренные ее конструктивные узлы и взаимосвязи между их основными элементами в виде функциональной схемы (рис. 6.18).

Исходные данные для вычисления текущих координат — приращение пути ΔS и дирекционный угол α — вводятся в координа-

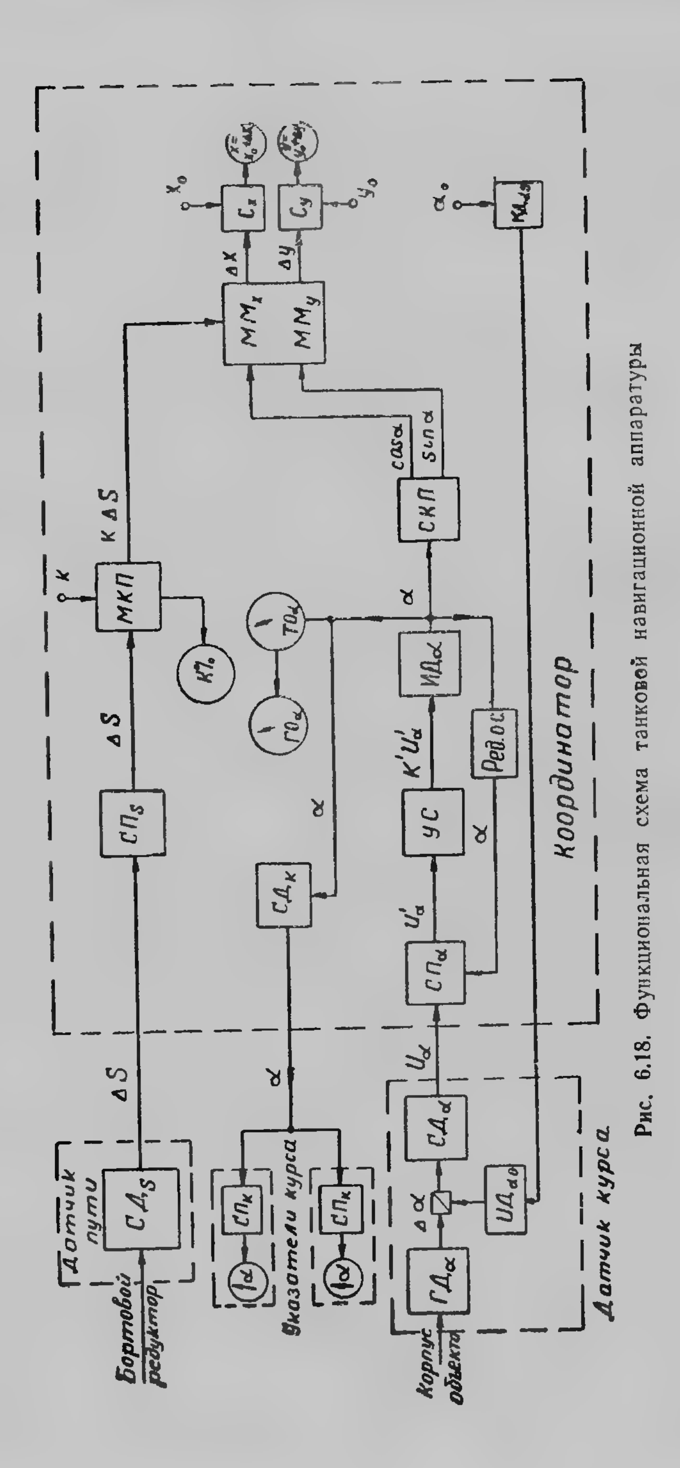


Рис. 6.18. Функциональная схема танковой навигационной аппаратуры

тор с помощью электрических дистанционных передач, выполненных на сельсинах.

Ротор сельсина-датчика $СД_S$, установленного в датчике пути, получает вращение от бортового редуктора и передает вращение по линии синхронной передачи ротору сельсина-приемника $СП_S$, установленному в координаторе.

Вращение от ротора сельсина-приемника $СП_S$ через механизм корректуры пути МКП передается общему диску обоих множительных механизмов $ММ_x$, $ММ_y$. Предварительно определенный коэффициент корректуры пути K вводится в механизм корректуры вручную и указывается по его шкале. Таким образом, в оба множительных механизма вводится действительное приращение пути.

Дирекционный угол движения объекта α измеряется гироскопическим датчиком $ГД_\alpha$, преобразуется в электрический сигнал сельсином-датчиком $СД_\alpha$, который поступает к сельсину-приемнику $СП_\alpha$ следящей системы передачи дирекционного угла, установленному в координаторе.

Сигнал, усиленный в усилителе, приводит в действие исполнительный двигатель следящей системы $ИД_\alpha$, а двигатель устанавливает ротор сельсина-приемника $СП_\alpha$ в согласованное положение с ротором сельсина-датчика $СД_\alpha$, поворачивает диск синусно-косинусного построителя и стрелки на шкалах грубого и точного отсчета $ГО_\alpha$ и $ТО_\alpha$ дирекционного угла, а также ротор сельсина-датчика дистанционной передачи курса $СД_К$. При этом сельсины-приемники $СП_К$ в обоих указателях курса дублируют показания указателя курса координатора.

Начальный дирекционный угол α_0 устанавливается перемещением в соответствующую сторону движка контактного датчика $КД_{\alpha_0}$ в координаторе — поворотом рукоятки «Установка курса». При этом исполнительный двигатель $ИД_{\alpha_0}$, установленный в гироскопическом датчике $ГД_\alpha$, начинает вращаться и поворачивает через редуктор ротор сельсина-датчика $СД_\alpha$. Между ротором сельсина-датчика $СД_\alpha$ и ротором сельсина-приемника $СП_\alpha$ возникает угол рассогласования, который отрабатывается следящей системой аналогично ранее описанному.

При повороте диска СКП его каретки, перемещаясь на величины, пропорциональные тригонометрическим функциям дирекционного угла $\cos\alpha$ и $\sin\alpha$, вводят эти величины соответственно в множительные механизмы $ММ_X$ и $ММ_Y$ и перемещают в них обоймы с шариками.

Множительные механизмы, перемножая приращения пути ΔS на соответствующие тригонометрические функции дирекционного угла $\cos\alpha$ и $\sin\alpha$, введенные в них СКП, вычисляют приращения координат ΔX и ΔY и вводят их в сумматоры C_X и C_Y — счетчики координат X и Y.

В последних вычисляются приращения координат ΔX и ΔY, которые суммируются с начальными координатами X_0 и Y_0, установленными вручную при подготовке системы к работе.

Результат суммирования начальных координат с их приращениями — текущие координаты ($X+\Delta X$ и $Y+\Delta Y$) — считываются со счетчиков координаты X и координаты Y.

§ 6.6. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ТАНКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ

Включение аппаратуры. Перед включением аппаратуры следует проверить напряжение бортовой сети машины, которое должно быть не менее 24 *в*.

Аппаратура включается выключателями «Преобр.» и «Система», расположенными на пульте управления.

Для включения системы следует:

— включить выключатель «Преобр.»;

— выждать 10—12 *мин* для разгона гиромотора до номинальной скорости вращения;

— включить выключатель «Система».

Включением выключателя «Преобр.» производится пуск приводного двигателя преобразователя тока и подключение к бортовой сети ламп подсветки шкал в координаторе и усилителя следящей системы передачи дирекционного угла.

При включенном преобразователе тока его генератор (рис. 6.8) питает переменным током (36 *в*, 400 *гц*) непосредственно присоединенные к нему:

— обмотку возбуждения *ОВ* исполнительного двигателя корректирующего устройства $ИД_{к.у}$;

— оба двигателя гиромотора *ГМ* датчика курса;

— исполнительный двигатель горизонтирующего устройства $ИД_{т.у}$;

— обмотку возбуждения *ОВ* исполнительного двигателя установки исходного дирекционного угла $ИД_{\alpha_0}$. При включении выключателя «Преобр.» начинается разгон гиромотора *ГМ* и работа горизонтирующего устройства.

Остальные потребители переменного тока присоединяются к генератору при включении выключателя «Система» на пульте управления.

При включении этого выключателя к генератору подключаются:

— сельсин-датчик дирекционного угла $СД_\alpha$ в датчике курса;

— трансформатор Тр1 питания сельсина-датчика пути $СД_S$ и трансформатор Тр2 питания сельсина-приемника курса $СП_к$ (в указателе курса);

— трансформатор Тр4 питания сельсина-приемника передачи пути $СП_S$ в координаторе;

— трансформатор Тр3 питания обмотки возбуждения исполнительного двигателя следящей системы передачи дирекционного угла $ИД_\alpha$ в координаторе;

— трансформатор Тр5 питания сельсина-датчика курса $СД_к$ в координаторе и сельсина-приемника курса $СП_к$ в указателе курса;

— контактный датчик установки курса $КД_{\alpha_0}$ в координаторе.

Таким образом, с включением выключателя «Система» вся аппаратура системы включена, и после подготовки ее к работе можно начинать движение.

Подготовка аппаратуры к работе включает следующие операции:

— широтную балансировку гироскопа;

— определение коэффициента корректуры пути;

— определение исходных топографических данных: начальных координат X_0 и Y_0 и исходного дирекционного угла $\alpha_{исх}$ объекта[1].

Исходные топографические данные должны быть определены и введены в аппаратуру перед началом ее работы по вычислению текущих координат.

Исходные топографические данные (X_0, Y_0 и $\alpha_{исх}$) вводятся в аппаратуру следующим образом:

— для введения в аппаратуру начальных координат X_0 и Y_0 следует установить их значения на счетчиках координат в координаторе;

— для введения в аппаратуру исходного дирекционного угла следует предварительно включить аппаратуру и, поворачивая рукоятку «Установка курса» на координаторе, установить стрелки на шкалах грубого и точного отсчета курса координатора в положение, соответствующее вычисленному значению исходного дирекционного угла.

После выполнения перечисленных выше операций аппаратура полностью подготовлена к работе.

Работа с аппаратурой во время движения заключается в периодическом контроле точности вычисления аппаратурой текущих координат по контрольным точкам маршрута, предварительно отмечаемым на карте при подготовке исходных данных.

Длительность непрерывной работы аппаратуры без переориентирования 3—3,5 *ч*.

Выключать аппаратуру следует при неподвижной машине, в последовательности, обратной ее включению.

После выключения аппаратуры разрешается начинать движение только после полной остановки ротора гиромотора датчика курса — прекращения шума от вращающегося по инерции ротора.

Время выбега ротора (время полной остановки) составляет 15—20 *мин*. При длительной стоянке машины следует записывать показания аппаратуры перед ее выключением на табличке, закрепленной на лицевой панели координатора.

[1] Производство этих операций см. в Руководстве по материальной части и эксплуатации танкового навигационного оборудования. Изд. МО, 1968.

§ 6.7. ГИРОСКОПИЧЕСКИЙ КУРСОУКАЗАТЕЛЬ (ГИРОПОЛУКОМПАС)

Гироскопический курсоуказатель предназначен для вождения машин по заданному курсу в условиях затрудненного ориентирования.

В комплект курсоуказателя входят гирополукомпас ГПК-59 (рис. 6.19) и преобразователь тока ПАГ-1Ф (рис. 6.22).

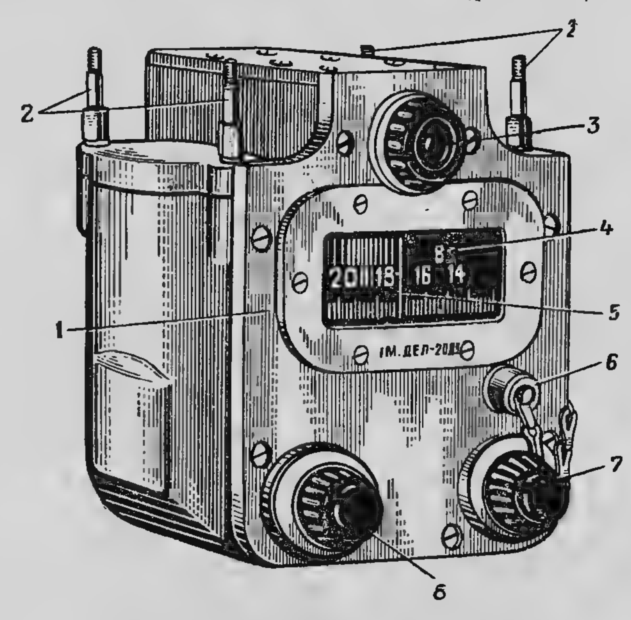


Рис. 6.19. Гирополукомпас (общий вид):

1 — лицевая панель (плата); *2* — шпильки крепления; *3* — патрон лампы подсветки; *4* — шкала; *5* — индекс; *6* — пробка регулировочного отверстия; *7* — отвертка; *8* — рукоятка управления арретиром и механизмом установки курса

Гирополукомпас состоит из гиромотора *2* (рис. 6.20), установленного в карданном подвесе, корректирующих устройств, арретира и механизма установки курса.

Гиромотор представляет собой асинхронный трехфазный двигатель обращенного типа, питаемый напряжением 36 *в*, частотой 400 *гц* от генератора преобразователя. Скорость вращения ротора гиромотора 22 000—23 000 *об/мин*.

Внутренняя рамка *5* выполнена в виде гирокамеры. Угол поворота этой рамки ограничен упорами.

Наружная рамка *3* в сборе с внутренней и гиромотором *2* установлена в корпусе прибора на подшипниках и не имеет ограничения угла поворота. Для уменьшения ударных нагрузок на оси подвеса между наружными кольцами подшипников наружной рамки и расточками корпуса установлены гофрированные пружины, а под нижний подшипник установлена упругая шайба.

На наружной рамке закреплена шкала *4* (рис. 6.19), градуированная в делениях угломера (цена одного малого деления 0-20 ДУ). Против шкалы в корпусе прибора имеется отверстие, закрытое прозрачным оргстеклом, на которое нанесена риска — индекс *5* для считывания показаний. Подсветка индекса и шкалы обеспечивается лампой, расположенной над верхним полированным торцом оргстекла.

Для устранения ухода главной оси гироскопа от суточного вращения Земли он снабжен устройством для широтной коррекции (балансировки). Корректирующее устройство механическое; момент при широтной балансировке гироскопа регулируется вращением винта *7* (рис. 6.20), ввернутого в гирокамеру, выполняющего роль грузика.

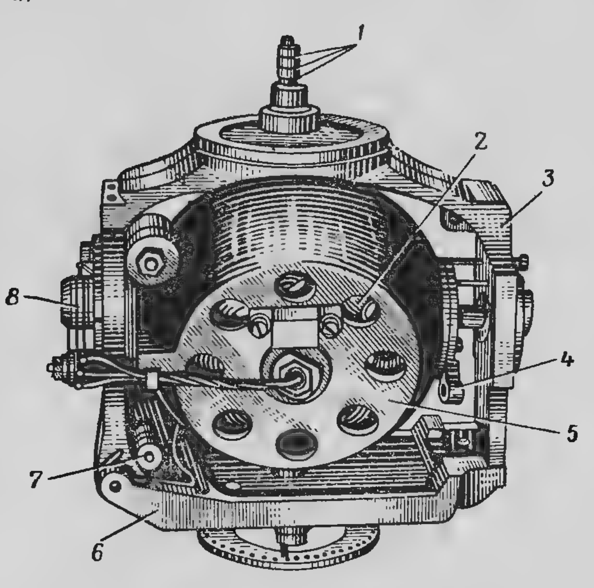


Рис. 6.20. Гироскопический узел:

1 — вращающееся контактное устройство; *2* — гиромотор; *3* — наружная рамка; *4* — кулачок арретира; *5* — внутренняя рамка (гирокамера); *6* — рычаг арретира; *7* — регулировочный винт (грузик) широтной балансировки; *8* — маломоментный токоподвод

Гироскоп снабжен воздушно-реактивной системой междурамочной коррекции (рис. 6.21), обеспечивающей удержание его главной оси в положении перпендикулярном к плоскости наружной рамки.

Для этой цели используется реакция силы давления струи воздуха $P_р$, выбрасываемого вращающимся ротором *10* через два диаметрально расположенных сопла *9* гирокамеры, обращенных в разные стороны.

Когда главная ось гироскопа перпендикулярна к плоскости наружной рамки, оба сопла лежат в плоскости этой рамки. В этом

случае момент, создаваемый реакциями сил давления струй воздуха на наружную рамку (момент относительно ее вертикальной оси), равен нулю (так как плечо равно нулю).

Если же главная ось гироскопа отклоняется от указанного положения (внутренняя рамка поворачивается вокруг своей оси), сопла оказываются расположенными по разные стороны плоскости наружной рамки.

Действие реакций сил давления струй воздуха передается от внутренней рамки на наружную через опоры внутренней рамки.

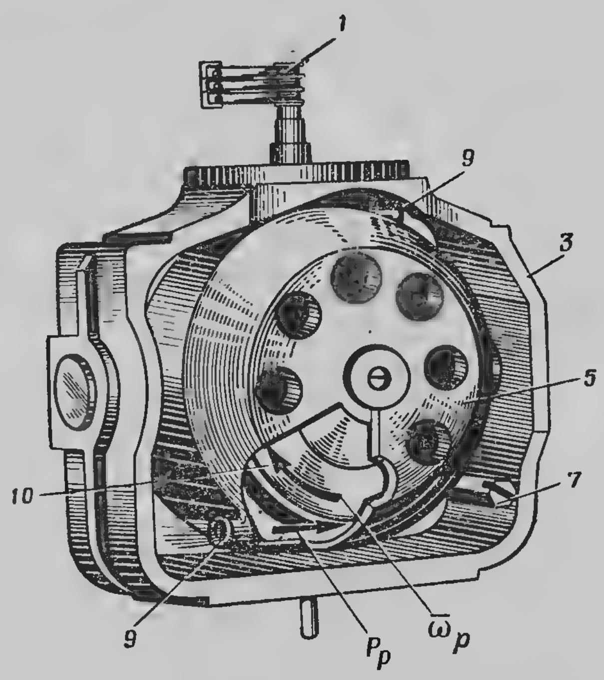


Рис. 6.21. Схема действия воздушно-реактивной системы коррекции (обозначения *1—8* те же, что на рис. 6.20):

9 — сопло; *10* — ротор гиромотора; P_p — реакция силы давления воздушной струи; $\overline{\omega}_p$ — направление вращения ротора

При этом на наружную рамку начинает действовать момент, пропорциональный величине появившегося плеча. Этот момент вызывает прецессию внутренней рамки в направлении, противоположном отклонению главной оси. Прецессия продолжается до тех пор, пока главная ось гироскопа не вернется в положение перпендикулярное к плоскости наружной рамки. Применение воздушно-реактивной системы коррекции существенно повысило точность работы прибора.

Арретир и механизм для ручной установки курса (разворота гироскопа) смонтированы в нижней части корпуса прибора. Управление обоими устройствами осуществляется рукояткой *8* (рис. 6.19) «Арретир», расположенной в левом нижнем углу лицевой панели: при вдвинутой рукоятке гироскоп ставится на арретир и одновременно включается муфта механизма установки курса, обеспечивающая возможность разворота гироскопа вращением этой же рукоятки; при выдвинутой рукоятке гироскоп снимается с арретира, а муфта механизма установки курса выключается.

В правом нижнем углу лицевой панели находится отвертка *7* с делениями на ее рукоятке, предназначенная для вращения регулировочного винта 7 (рис. 6.20) широтной балансировки, и пробка *6* (рис. 6.19), закрывающая отверстие для доступа к регулировочному винту. Винт находится против этого отверстия при установке нуля шкалы против индекса и удерживается в этом положении, если гироскоп поставлен на арретир.

Преобразователь тока состоит из приводного двигателя постоянного тока смешанного возбуждения и трехфазного генератора переменного тока с возбуждением от постоянного магнита. Обе электрические машины выполнены в одном агрегате.

Внутри основания *1* (рис. 6.22) преобразователя размещены фильтр *2* для снижения уровня радиопомех и сопротивление *4*, предназначенное для регулирования скорости вращения приводного двигателя, а следовательно, и частоты переменного тока в зависимости от нагрузки генератора. Это сопротивление включено последовательно в цепь шунтовой обмотки приводного двигателя.

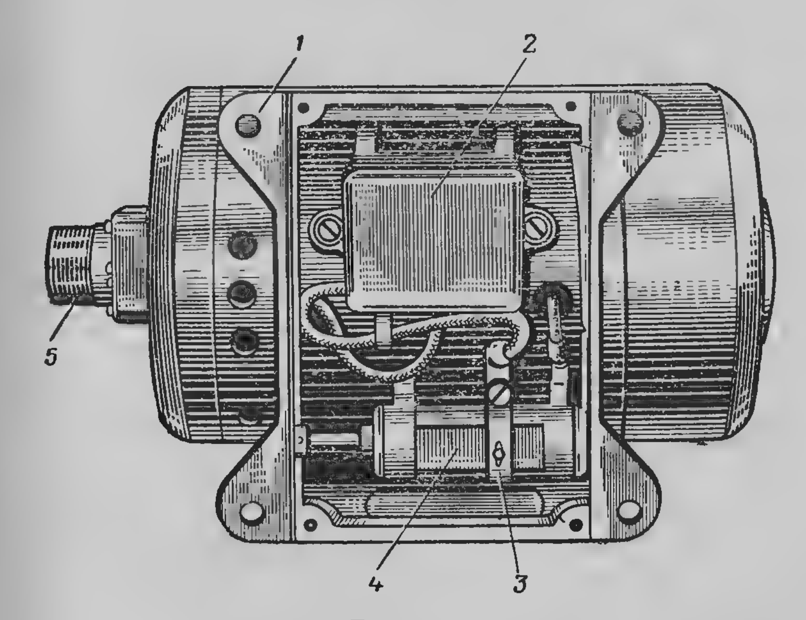


Рис. 6.22. Преобразователь тока:

1 — основание; *2* — фильтр; *3* — хомут; *4* — сопротивление для регулирования скорости вращения приводного двигателя; *5* — штепсельный разъем

Пуск приводного двигателя преобразователя, а следовательно, и гиромотора производится выключателем, установленным на щитке механика-водителя или на кронштейне крепления прибора.

При включенном приборе главная ось гироскопа, а следовательно, и его шкала сохраняют свое направление относительно земного ориентира неизменным. При изменении направления (курса) движения машины закрепленный на ней корпус прибора, а следовательно, и индекс будут перемещаться относительно делений шкалы. Поэтому, наблюдая за показаниями прибора, можно двигаться в определенном направлении, например выдерживать нужный курс при движении под водой, на местности с малым количеством ориентиров, при ограниченной видимости и т. п.

Пользование гироскопическим курсоуказателем требует соблюдения следующих основных правил:

— включать и выключать курсоуказатель выключателем и рукояткой «Арретир» только при неподвижной машине;

— не начинать движение ранее чем через 5 *мин* после включения преобразователя, а также при гироскопе, поставленном на арретир;

— после выключения преобразователя поставить гироскоп на арретир и не начинать движения при вращающемся роторе гиромотора.

Включать прибор в такой последовательности:

— перед включением прибора проверить напряжение бортовой сети и положение рукоятки «Арретир» (напряжение сети должно быть не менее 24 *в*, а рукоятка утоплена);

— включить преобразователь;

— через 5 *мин* (время разгона гиромотора) плавным вращением рукоятки развернуть гироскоп и установить нужный курсовой угол;

— потянуть рукоятку на себя до появления щелчка, при этом муфта механизма разворота выключается, а гироскоп снимается с арретира.

После выполнения этих операций можно начинать движение.

Выключать прибор в обратной последовательности.

Уход главной оси гироскопа проверяется при прибытии машины в часть, при сезонном обслуживании, годовом осмотре, а также при перемещении машины в направлении меридиана более чем на 400—500 *км*.

Уход главной оси гироскопа проверяется на движущейся машине и не должен превышать двух малых делений шкалы (0±40ДУ) за 30 *мин*. При уходе, превышающем указанную величину, производят широтную балансировку, вращая регулировочный винт (грузик) специальной отверткой, входящей в комплект прибора. В результате точной балансировки величина ухода может быть сведена почти к нулю, благодаря чему возможно непрерывное пользование прибором без переориентирования более 1—1,5 *ч*.

РАЗДЕЛ III

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ БРОНЕТАНКОВОЙ ТЕХНИКИ

Глава 7

ГЕНЕРАТОРЫ И РЕЛЕ-РЕГУЛЯТОРЫ

Генераторы, устанавливаемые в объектах бронетанковой техники, предназначены для питания потребителей электрической энергией и подзарядки аккумуляторных батарей при работающем двигателе. Они являются основными источниками электрической энергии. В современных объектах бронетанковой техники применяются, как правило, генераторы постоянного тока. По принципу работы и общей конструктивной схеме эти генераторы не отличаются от стационарных, однако они имеют ряд существенных особенностей, вытекающих из специфических условий их работы в машине.

§ 7.1. УСЛОВИЯ РАБОТЫ И ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ГЕНЕРАТОРОВ, УСТАНАВЛИВАЕМЫХ В ОБЪЕКТАХ БРОНЕТАНКОВОЙ ТЕХНИКИ

Генератор располагается в силовом отделении. Для его размещения имеется ограниченный объем, поэтому генератор должен иметь малые габариты.

Доступ к генераторам подвижных объектов, как правило, затруднен, поэтому конструкция таких генераторов должна быть такова, чтобы они могли работать в течение всего гарантийного срока без специального обслуживания. Кроме этого, генераторы должны надежно работать в условиях повышенных механических нагрузок (тряски и вибрации) и значительной запыленности охлаждающего воздуха, а также при высокой температуре окружающей среды.

Генератор приводится во вращение от двигателя внутреннего сгорания, скорость вращения которого изменяется в широких пределах. Поэтому для обеспечения постоянства напряжения при изменении скорости вращения генератор снабжается автоматическим р е г у л я т о р о м н а п р я ж е н и я.

Генератор работает параллельно с аккумуляторными батареями. Поэтому при уменьшении скорости вращения, когда напряже-

ние генератора становится меньше напряжения батарей, генератор автоматически должен быть отключен от аккумуляторных батарей. Когда же напряжение генератора становится больше напряжения аккумуляторных батарей, он должен автоматически включаться на зарядку аккумуляторных батарей. Для этой цели генератор снабжается автоматом обратного тока.

Мощность генератора ограничивается в основном его нагревом. Поэтому для повышения мощности генераторов применяют более теплостойкие изоляционные материалы и улучшают охлаждение генераторов. В современных генераторах применяется и наружная и внутренняя вентиляция.

В тех случаях, когда генератор нужно предохранить от перегрузки, он снабжается ограничителем тока.

Регулятор напряжения, автомат обратного тока и ограничитель тока конструктивно объединены в реле-регулятор.

Генераторы подвижных объектов работают в большом диапазоне скоростей вращения. Этот диапазон характеризуется двумя величинами: начальной (или минимальной) скоростью вращения n_{min} и наибольшей (или максимальной) скоростью вращения n_{max}.

Под минимальной скоростью вращения n_{min} понимают такую скорость вращения генератора, при которой его напряжение достигает номинальной величины.

Под максимальной скоростью вращения n_{max} понимают скорость вращения генератора, соответствующую наибольшей рабочей скорости вращения двигателя внутреннего сгорания:

$$n_{max} = i n_{max\ дв},$$

где i — передаточное отношение привода от двигателя к генератору.

Типы генераторов и их основные технические данные приведены в табл. 7.1.

§ 7.2. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА. УГОЛЬНЫЙ РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ

Для нормальной работы потребителей необходимо, чтобы при изменении в широких пределах скорости вращения генератора и нагрузки (от нуля до максимальной) напряжение на его зажимах оставалось неизменным. Постоянство напряжения генератора осуществляется изменением потока возбуждения. Как известно, электродвижущая сила генератора равна

$$E = Cn\Phi,$$

где C — постоянный коэффициент, определяемый конструкцией генератора;

n — скорость вращения якоря генератора;

Φ — магнитный поток возбуждения.

Таблица 7.1

Основные технические данные генераторов и реле-регуляторов

Технические данные	Единица измерения	Типы генераторов				
		Г-5	Г-6,5	СГ-10	ВГ-7500	Г-290
Мощность	*вт*	5000	6500	10 000	4500	4000
Режим работы		Продолжительный				
Номинальное напряжение	*в*	28	28	28	28	28
Номинальный ток	*а*	180	230	360	300	150
Кратковременно допускаемый ток в течение 30 *сек*	*а*	300	350	450	—	—
Минимальная скорость вращения при полной мощности в нагретом состоянии (генератор/двигатель)	*об/мин*	3000/1000	3000	3600	3530/1400	2600
Максимальная скорость вращения	*об/мин*	6500	6500	6250	7150	6500
Число полюсов основных (дополнительных)		6 (3)	6 (3)	4 (2)	6 (3)	—
Диаметр корпуса	*мм*	178	178	215	166	204
Длина генератора	*мм*	551	575	470	386	370
Вес генератора	*кг*	46	46	70	24,5	22
Удельная мощность	*вт/кг*	108,6	141,3	143	184	180
Тип реле-регулятора		Р-5М	Р-10Г	Р-10ТМ	Р-27	РР-361А
Напряжение включения реле обратного тока (управляющего реле)	*в*	25,5—27	—	—	—	—
Обратный ток выключения	*а*	15—35	15—35	15—35	15—35	—
Напряжение, поддерживаемое регуляторами напряжения (нагрузка / холостой ход)	*в*	27—29 / 30	27—29 / 30	27—29 / 30	27—29	27—29

Напряжение генератора определяется по формуле

$$U = E - I_я R_я,$$

где $I_я R_я$ — падение напряжения в якоре.

Если пренебречь падением напряжения в обмотке якоря генератора, можно считать, что

$$U \approx E = Cn\Phi.$$

Следовательно, для обеспечения постоянства напряжения генератора при увеличении скорости вращения n (начиная с минимальной) нужно уменьшать магнитный поток Φ. Последнее легко достигается уменьшением тока возбуждения, изменением сопротивления, включенного последовательно с обмоткой возбуждения генератора, с помощью автоматически действующего регулятора напряжения.

Угольный регулятор напряжения. Принцип действия угольного регулятора основан на свойстве столба, состоящего из угольных шайб, изменять сопротивление при изменении силы его сжатия. Угольный регулятор напряжения, принципиальная схема которого показана на рис. 7.1, состоит из трех основных частей:

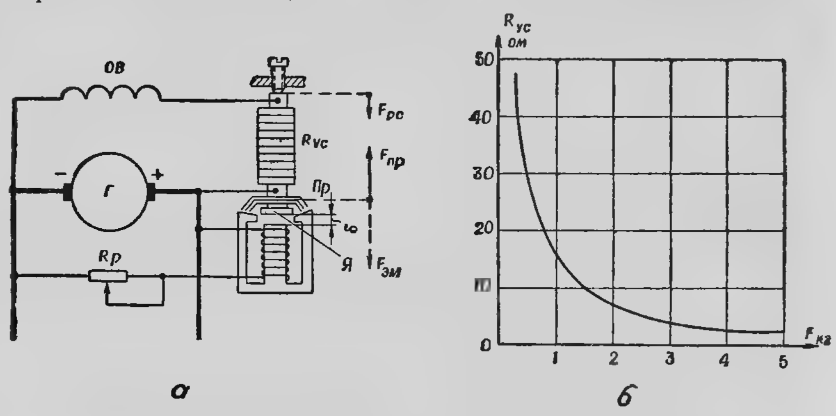


Рис. 7.1. Схема простейшего угольного регулятора напряжения:
а — принципиальная схема; *б* — характеристика

угольного столба *УС*, электромагнита *ЭМ* и пружины *Пр*. Угольный столб включен в цепь обмотки возбуждения *ОВ* генератора. Обмотка электромагнита включена на полное напряжение генератора. Якорь электромагнита *Я*, воздействующий на угольный столб, жестко связан с пружиной, сила которой обеспечивает сжатие угольных шайб. Сила электромагнита направлена встречно силе пружины. Сопротивление угольного столба будет изменяться в результате изменения сил, действующих на него, а изменение этих сил происходит вследствие перемещения якоря электромагнита. Якорь элктромагнита находится под воздействием трех сил: силы электромагнита $F_{эм}$, силы пружины $F_{пр}$ и силы реакции угольного столба $F_{р.\,с}$.

Следовательно, якорь электромагнита будет находиться в состоянии покоя только в том случае, если наступает равновесие всех действующих на него сил, т. е. при выполнении условия

$$F_{пр} - F_{р.\,с} - F_{эм} = 0. \tag{7.1}$$

Нарушение равновесия приводит к перемещению якоря до тех пор, пока не наступит новое равновесие сил.

В исходном положении угольный столб максимально сжат, сопротивление столба, а следовательно, и сопротивление цепи возбуждения при этом минимальны.

При повышении напряжения генератора сила притяжения электромагнита увеличивается. Это приводит к нарушению равновесия сил, действующих на якорь регулятора. Якорь электромагнита перемещается, при этом давление пружины на угольный столб уменьшается, а его сопротивление увеличивается. Увеличение сопротивления угольного столба уменьшает ток возбуждения, в результате чего напряжение генератора понижается.

Если напряжение генератора станет меньше заданной величины, сила притяжения электромагнита уменьшится, что также приводит к нарушению равновесия сил, действующих на якорь. В данном случае сила пружины станет больше силы электромагнита и якорь электромагнита будет увеличивать давление на угольный столб. Вследствие этого сопротивление угольного столба уменьшится, ток возбуждения увеличится, а напряжение генератора повысится до заданного значения. При этом якорь электромагнита займет новое положение, соответствующее равновесию действующих на него сил.

Таким образом, принцип действия угольного регулятора состоит в том, что при увеличении скорости вращения генератора в цепь обмотки возбуждения вводится переменное сопротивление, благодаря чему уменьшается ток возбуждения, а напряжение генератора поддерживается постоянным.

Условие равновесия сил (7.1) дает возможность определить уравнение регулируемого напряжения генератора. Вследствие того что сила реакции угольного столба $F_{р.\,с}$ значительно меньше силы пружины $F_{пр}$, ею можно пренебречь.
Тогда уравнение (7.1) примет вид

$$F_{пр} = F_{эм}. \tag{7.2}$$

Известно, что

$$F_{эм} = c_1 \Phi_{эм}^2 = c_1 \left(\frac{i_0 w_0}{R_m}\right)^2 = c_1 \left(\frac{i_0 w_0}{c_2 \delta}\right)^2, \tag{7.3}$$

где i_0 — ток в основной обмотке электромагнита;
w_0 — число витков основной обмотки;
R_m — сопротивление магнитной цепи ($R_m = \delta$);
δ — воздушный зазор между якорем и сердечником электромагнита;
c_1 и c_2 — коэффициенты пропорциональности.

Подставляя значение $F_{эм}$ в уравнение (7.2), найдем, что

$$F_{пр}=\frac{c_1}{c_2^2}\cdot\frac{i_о^2 w_о^2}{\delta^2}.$$

Ток основной обмотки электромагнита

$$i_о=\frac{U_г}{r_о+R_р},$$

где $R_р$ — сопротивление регулировочного реостата в цепи основной обмотки электромагнита.

Следовательно,

$$F_{пр}=\frac{U_г^2 w_о^2}{c^2\delta^2(r_о+R_р)^2}, \qquad (7.4)$$

где $c=\frac{c_2}{\sqrt{c_1}}$.

Решая уравнение (7.4) относительно $U_г$, найдем, что

$$U_г=c\delta\frac{r_о+R_р}{w_о}\sqrt{F_{пр}}. \qquad (7.5)$$

Из уравнения (7.5) видно, что напряжение генератора, поддерживаемое угольным регулятором напряжения, прямо пропорционально сопротивлению цепи основной обмотки $(r_о+R_р)$, силе пружины и обратно пропорционально числу витков основной обмотки. Если сопротивление цепи основной обмотки и сила пружины постоянны, то и напряжение генератора будет неизменным.

Заводскую регулировку (настройку) осуществляют изменением зазора δ и силы пружины $F_{пр}$; в процессе эксплуатации напряжение генератора регулируют изменением величины регулировочного сопротивления $R_р$.

Описанная схема простейшего угольного регулятора (рис. 7.1) имеет существенный недостаток, состоящий в том, что в переходных процессах регулятор работает с большим перерегулированием, т. е. с большой колебательностью.

Обусловлено это наличием инерционных элементов в системе регулирования (обмотка электромагнита, якорь электромагнита, обмотка возбуждения генератора). Например, при увеличении напряжения ток в основной обмотке электромагнита будет изменяться с некоторым запаздыванием за счет индуктивности этой обмотки. Перемещение якоря будет запаздывать еще более за счет механической инерции, а изменение тока возбуждения генератора дополнительно к указанным причинам будет запаздывать еще и за счет индуктивности обмотки возбуждения.

В итоге, когда напряжение генератора достигнет заданной величины, якорь электромагнита продолжает перемещаться; при этом сопротивление угольного столба увеличивается. Поэтому и напряжение генератора, уменьшаясь, переходит заданное значение, что вызывает изменение знака сил, действующих на якорь, а следовательно, и изменение направления его движения. При этом весь процесс протекает в обратном порядке. Эти колебания около нового положения равновесия повторяются, затухая по амплитуде, пока процесс не установится.

Для уменьшения колебательности переходных процессов в схему угольного регулятора включают стабилизирующие элементы: стабилизирующее сопротивление $R_{ст}$ и стабилизирующий трансформатор $Тр_{ст}$.

Схема угольного регулятора напряжения со стабилизирующим сопротивлением показана на рис. 7.2. Стабилизирующее сопротивление $R_{ст}$ включено между точками $А$ и $Б$. Разность потенциалов

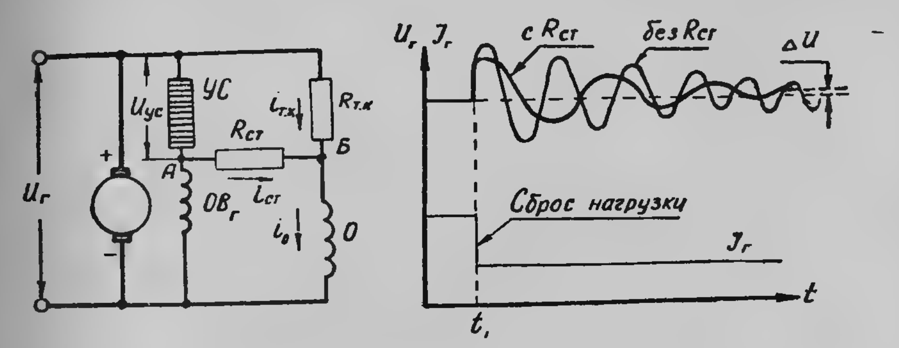


Рис. 7.2. Схема угольного регулятора напряжения со стабилизирующим сопротивлением

между этими точками зависит от степени сжатия угольного столба $УС$ (от сопротивления $УС$).

При такой схеме включения стабилизирующего сопротивления ток в основной обмотке $О$ электромагнита будет равен алгебраической сумме токов, протекающих по сопротивлению температурной компенсации $R_{т.к}$ и стабилизирующему сопротивлению $R_{ст}$:

$$i_о=i_{т.к}+i_{ст}.$$

Сущность действия стабилизирующего сопротивления заключается в следующем. При увеличении сопротивления угольного столба потенциал точки $А$ уменьшается, следовательно, уменьшается и ток в основной обмотке электромагнита (за счет уменьшения тока, протекающего через стабилизирующее сопротивление); при уменьшении сопротивления угольного столба ток в основной обмотке увеличивается.

Если в процессе работы регулятора напряжение генератора увеличится, то и сопротивление угольного столба начнет возрастать, однако скорость нарастания тока в основной обмотке $О$ электромагнита в этом случае замедляется за счет уменьшения тока в стабилизирующем сопротивлении.

При уменьшении напряжения генератора сопротивление угольного столба уменьшается, ток в стабилизирующем сопротивлении

возрастает, благодаря чему замедляется процесс спада тока в основной обмотке O.

Вследствие замедления процессов нарастания и спада тока в основной обмотке электромагнита скорость перемещения подвижных частей (якоря, шайб угольного столба) уменьшается. Поэтому колебания напряжения генератора затухают быстрее, а амплитуда этих колебаний (перерегулирование) уменьшаются (рис. 7.2).

Однако полностью обеспечить необходимое качество переходных процессов за счет стабилизирующего сопротивления не удается. Поэтому в схему угольного регулятора напряжения вводят еще стабилизирующий трансформатор Тр (рис. 7.3). Первичная обмотка трансформатора w_1 включена параллельно обмотке возбуждения генератора; вторичная обмотка w_2 включена последовательно в цепь основной обмотки электромагнита.

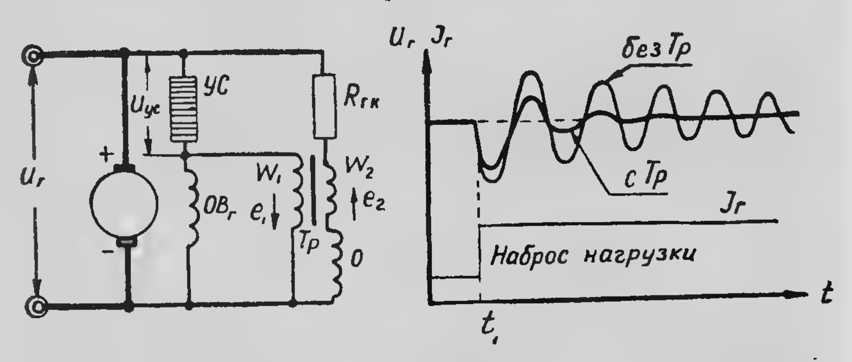


Рис. 7.3. Схема угольного регулятора напряжения со стабилизирующим трансформатором

При возникновении колебаний напряжения генератора во вторичной обмотке w_2 трансформатора возникает э. д. с. взаимоиндукции e_2. Если напряжение генератора возрастает, то эта э. д. с. действует встречно напряжению, приложенному к основной обмотке электромагнита; если же напряжение генератора уменьшается, то она действует согласно с приложенным напряжением. Вследствие этого колебания напряжения затухают быстрее (рис. 7.3).

Недостаток угольного регулятора напряжения состоит в том, что он требует частой регулировки (настройки) в процессе эксплуатации.

§ 7.3. ВИБРАЦИОННЫЙ РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ

Вибрационный регулятор напряжения впервые был предложен русским артиллерийским офицером М. И. Кармановым в 1881 г.

Схема электромагнитного вибрационного регулятора напряжения показана на рис. 7.4.

Основная намагничивающая обмотка O включена параллельно обмотке якоря, т. е. находится под полным напряжением генератора. Последовательно с обмоткой возбуждения OB генератора включены контакты K регулятора. Один контакт помещен на подвижном якорьке, а другой закреплен неподвижно. При прохождении тока через обмотку O создается электромагнитная сила, которая стремится разомкнуть контакты K. Сила пружины $F_{пр}$, наоборот, стремится удержать контакты в замкнутом состоянии. Параллельно контактам включено добавочное сопротивление $R_д$.

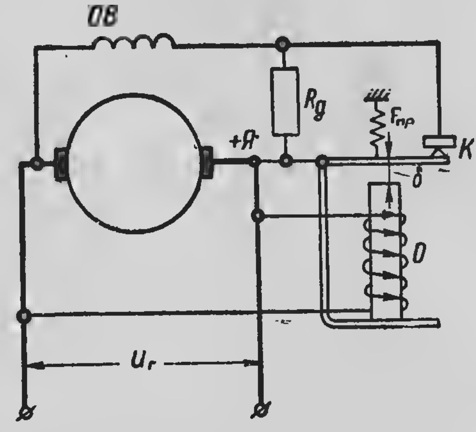


Рис. 7.4. Схема вибрационного регулятора напряжения

Регулятор работает следующим образом.

Когда напряжение генератора меньше регулируемой величины, сила электромагнита, создаваемая током основной обмотки, меньше силы пружины, благодаря чему контакты удерживаются пружиной в замкнутом состоянии. При этом ток в обмотку возбуждения идет через замкнутые контакты, минуя добавочное сопротивление. Ток возбуждения растет, и напряжение генератора вследствие этого возрастает (рис. 7.5, участок $АБ$).

Когда напряжение генератора станет выше заданного значения $U_{ср}$, сила электромагнита преодолеет силу пружины и контакты K

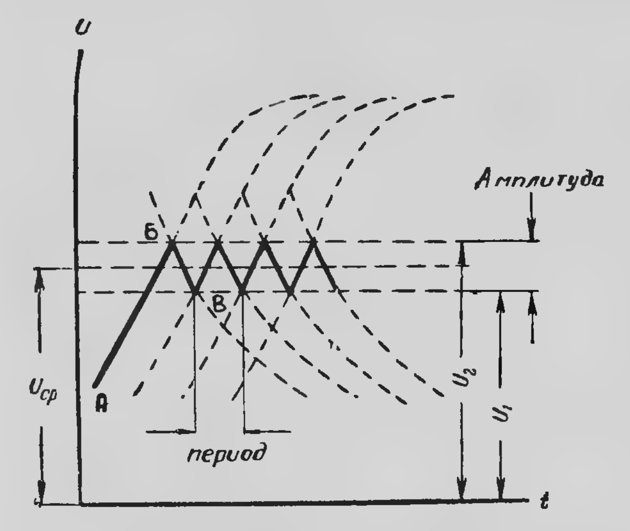


Рис. 7.5. Изменение напряжения генератора с вибрационным регулятором напряжения

регулятора разомкнутся. При этом в цепь обмотки возбуждения генератора включится добавочное сопротивление $R_д$, что приведет к уменьшению тока возбуждения и напряжения генератора (рис. 7.5, участок *БВ*). Уменьшится при этом и сила электромагнита, создаваемая основной обмоткой регулятора, вследствие чего контакты под действием пружины вновь замкнутся и весь процесс повторится.

Таким образом, если скорость вращения генератора изменяется в пределах от n_{min} до n_{max}, якорь регулятора напряжения будет непрерывно вибрировать, а напряжение генератора будет колебаться (пульсировать) около некоторой средней величины $U_{ср}$.

Если частота пульсации будет превышать 30 колебаний в секунду, то колебания напряжения электромагнитными аппаратами и электродвигателями восприниматься не будут.

Величину регулируемого напряжения вибрационного регулятора можно определить из равенства силы электромагнита и силы пружины:

$$F_{эм} = F_{пр}.$$

Делая аналогичные преобразования, как и при выводе уравнения для угольного регулятора напряжения, найдем, что среднее значение напряжения, поддерживаемое вибрационным регулятором, равно

$$U_{ср} = c\delta \frac{r_о}{w_о} \sqrt{F_{пр}}.$$

Из этого выражения следует, что напряжение генератора, поддерживаемое регулятором, зависит от следующих величин:

— натяжения пружины $F_{пр}$;

— воздушного зазора δ между якорем и сердечником;

— сопротивления $r_о$ основной обмотки регулятора напряжения.

Таким образом, если $F_{пр}$, δ и $r_о$ будут неизменны, то и средняя величина напряжения $U_{ср}$, поддерживаемого регулятором, будет постоянна.

Наоборот, для того чтобы изменить величину регулируемого напряжения, необходимо изменить натяжение пружины $F_{пр}$ или величину воздушного зазора δ.

В эксплуатации основным способом изменения величины регулируемого напряжения является изменение натяжения пружины.

§ 7.4. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РАБОТЫ ВИБРАЦИОННОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

Как видно из табл. 7.1, мощность танковых генераторов все время возрастает. С увеличением же мощности генераторов процессы нарастания и спада напряжения при замыкании и размыкании контактов регулятора замедляются. Частота вибрации якоря уменьшается, и это приводит к тому, что частота пульсации напряжения становится настолько малой, что заметно мигание ламп.

Поэтому применяют специальные меры для увеличения частоты вибрации якоря (или, что то же самое, для повышения частоты вибрации контактов).

Для того чтобы повысить частоту вибрации якорька, необходимо ускорить размагничивание сердечника регулятора при размыкании контактов (чтобы заставить их быстрее вновь замкнуться), а также ускорить намагничивание сердечника регулятора при замыкании контактов (чтобы заставить их быстрее разомкнуться). Эта задача выполняется применением дополнительных ускоряющих обмоток или включением основной обмотки по схеме с ускоряющим сопротивлением.

Регулятор напряжения с основной и ускоряющей обмотками. Ускоряющая обмотка предназначена для того, чтобы в момент размыкания контактов регулятора напряжения ускорить размагничивание сердечника регулятора путем создания дополнительной намагничивающей силы, действующей встречно намагничивающей силе основной обмотки.

Ускоряющая обмотка может включаться параллельно контактам регулятора или параллельно обмотке возбуждения генератора.

На рис. 7.6 изображена схема регулятора с ускоряющей обмоткой, включенной параллельно контактам регулятора.

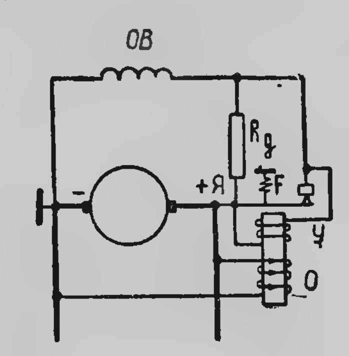


Рис. 7.6. Схема вибрационного регулятора напряжения с ускоряющей обмоткой

При замкнутых контактах ток в ускоряющей обмотке *У* практически равен нулю. При размыкании контактов в ускоряющую обмотку *У* ответвляется часть тока возбуждения, который создает в сердечнике регулятора намагничивающую силу, действующую встречно намагничивающей силе, созданной основной обмоткой *О*. Вследствие этого сердечник быстрее размагничивается и под действием пружины контакты вновь замыкаются.

Регулятор напряжения с ускоряющим сопротивлением. Ускорение вибрации якорька может быть достигнуто без специальной ускоряющей обмотки, применением так называемой схемы ускоряющего сопротивления. В этой схеме (рис. 7.7) основная обмотка

регулятора O присоединена не к зажимам генератора (на полное напряжение), а к части добавочного сопротивления. Меньшую часть добавочного сопротивления обычно называют ускоряющим сопротивлением.

При замкнутых контактах напряжение, приложенное к основной обмотке, примерно равно напряжению генератора, так как падение напряжения в ускоряющем сопротивлении от тока основной обмотки регулятора незначительно и им можно пренебречь:

$$U_{о.з} = U - I_0 R_у \approx U_г.$$

При размыкании контактов ток возбуждения генератора $I_в$ вследствие индуктивности обмотки возбуждения не может изменяться скачкообразно и в первый момент сохраняет свою величину и направление. Этот ток, проходя по ускоряющему сопротивлению $R_у$, создает на нем дополнительное падение напряжения. Благодаря этому напряжение, приложенное к основной обмотке регулятора, уменьшится и будет равно

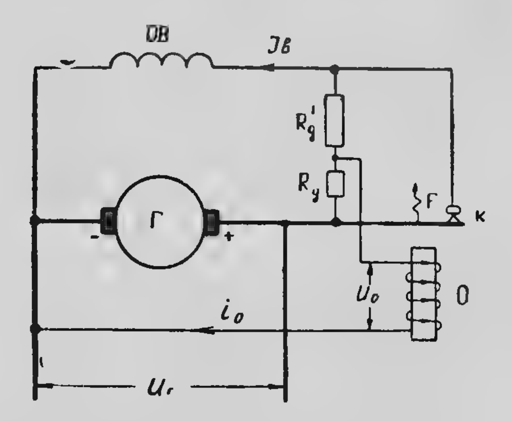


Рис. 7.7. Схема вибрационного регулятора напряжения с ускоряющим сопротивлением

$$U_{о.р} = U_г - (I_о + I_в) R_у = U - I_о R_у - I_в R_у.$$

Таким образом, при размыкании контактов регулятора напряжение, приложенное к его основной обмотке, скачком уменьшается на величину $I_в R_у$.

Скачкообразное уменьшение напряжения на основной обмотке приводит к уменьшению тока в ней, а следовательно, и магнитного потока в сердечнике регулятора, благодаря чему контакты под действием пружины вновь быстро замкнутся. Эта схема ускорения частоты вибрации контактов в настоящее время является наиболее распространенной в танковых и автомобильных регуляторах напряжения.

Применение ускоряющих схем уменьшает амплитуду колебаний якорька до нескольких сотых долей миллиметра и увеличивает частоту колебаний с 10—20 до 100—150 колебаний в секунду.

Необходимо отметить, что применение ускоряющих обмоток и схем с ускоряющим сопротивлением вызывает повышение напряжения генератора при увеличении скорости его вращения. Компенсировать это увеличение можно с помощью **выравнивающей обмотки** B (рис. 7.8). Эта обмотка включается последовательно с обмоткой возбуждения генератора и наматывается так, чтобы проходящий по ней ток был противоположен по направлению току в основной обмотке, т. е. выравнивающая обмотка B действовала бы встречно основной обмотке O.

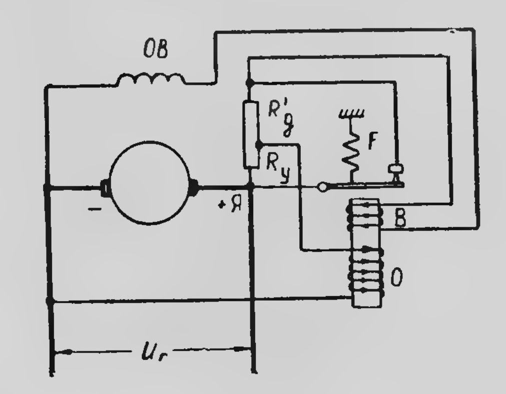


Рис. 7.8. Схема вибрационного регулятора напряжения с ускоряющим сопротивлением и выравнивающей обмоткой

Компенсация увеличения напряжения генератора с возрастанием скорости вращения заключается в следующем.

Увеличение скорости вращения генератора, как известно, сопровождается уменьшением тока возбуждения. Следовательно, будет уменьшаться и ток, протекающий по выравнивающей обмотке. Поэтому с увеличением скорости вращения генератора уменьшается размагничивающее действие выравнивающей обмотки и контакты регулятора напряжения будут размыкаться при меньшем токе в основной обмотке, т. е. при меньшем напряжении генератора. Следовательно, при соответствующем числе витков выравнивающей обмотки напряжение генератора при изменении скорости вращения можно сохранить постоянным.

Износ контактов вибрационного регулятора напряжения и способы борьбы с ним. Надежность работы вибрационного регулятора напряжения зависит прежде всего от состояния его контактов. В процессе работы контакты регулятора вследствие большого числа размыканий (примерно 400 000 размыканий в час) даже при небольшом искрении постепенно изнашиваются. Износ контактов является следствием механических, химических и электрических факторов. Механический износ возникает вследствие ударов подвижного контакта о неподвижный.

Химический износ (коррозия) проявляется в окислении контактов. Это приводит к нарушению электрического контакта в цепи возбуждения генератора, и генератор перестает возбуждаться.

Однако наиболее существенным является электрический износ (эрозия), выражающийся в переносе металла с одного контакта на другой под действием электрического тока. Это вызывает разрушение контактов, вследствие чего они выходят из строя.

Основной причиной электрического износа является искрение на контактах. Поэтому для уменьшения износа контактов необходимо применять специальные меры, а для этого необходимо выяснить, что является причиной искрения.

Степень разрушающего действия искрения контактов характеризуется условной величиной — так называемой разрывной мощностью на контактах. Эта мощность равна произведению тока возбуждения, проходившего через контакты в момент их размыкания, на величину напряжения $U_к$, возникшего на контактах в результате их размыкания:

$$P_к = U_к I_в.$$

Так как $U_к = I_в R_д$, то $P_к = I_в^2 R_д$.

Максимальное значение разрывной мощности на контактах не должно превышать 250—270 *ва*.

Из выражения значения разрывной мощности следует, что величина ее пропорциональна добавочному сопротивлению $R_д$. Но величину $R_д$ нельзя уменьшать, так как она определяется заданной максимальной скоростью вращения генератора n_{max}.

Таким образом, для уменьшения разрывной мощности контактов можно уменьшать лишь ток возбуждения $I_{в.max}$ генератора. Последнее в свою очередь приводит к увеличению минимальной скорости вращения и габаритов генератора. Стремление сохранить заданное значение минимальной скорости вращения генератора при увеличении мощности приводит к возрастанию максимального значения тока возбуждения, достигающего 2—3 *а*. Разрывная мощность на контактах вибрационного регулятора напряжения при этом превышает допустимую величину в несколько раз. Для увеличения надежности работы контактов регулятора применяют различные схемы включения регуляторов напряжения.

Одной из наиболее распространенных схем является схема с обмоткой возбуждения, разделенной на две параллельные ветви, в каждую из которых включается регулятор напряжения; тем самым величина тока, проходящего через контакты каждого регулятора, уменьшается, и надежность их работы повышается.

Схема регулирования напряжения мощных танковых генераторов с разделенной обмоткой возбуждения показана на рис. 7.9.

Для равномерного износа контактов обоих регуляторов напряжения необходимо, чтобы работали оба регулятора, тогда ток возбуждения будет делиться между обеими параллельными ветвями поровну. На схеме, изображенной на рис. 7.9, это условие не выполняется, так как регулировка обоих регуляторов не может быть строго одинаковой, в результате чего может работать только один регулятор, отрегулированный на более низкое напряжение. Другой же регулятор, отрегулированный на более высокое напряжение, работать не будет, и его контакты будут замкнуты.

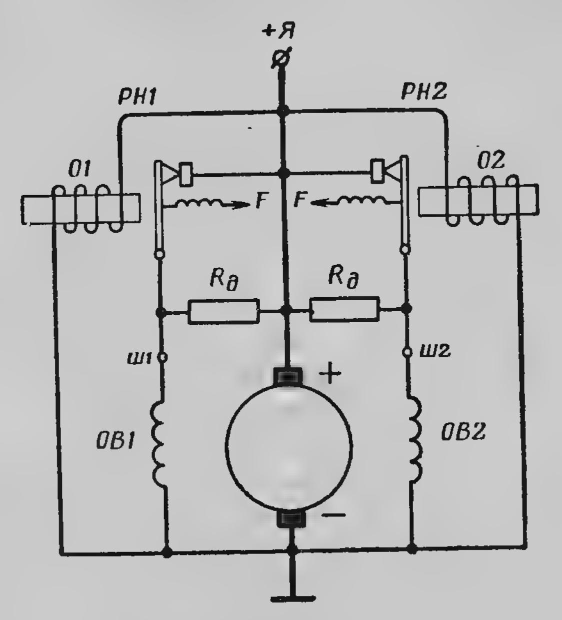


Рис. 7.9. Схема регулирования напряжения генератора с разделенной обмоткой возбуждения

Для того чтобы обеспечить работу обоих регуляторов, применяется специальная схема включения выравнивающих обмоток.

§ 7.5. БЕСКОНТАКТНЫЙ РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ

Несмотря на ряд положительных качеств вибрационного регулятора (простота конструкции, малый вес и габариты), он все же имеет существенный недостаток; надежность работы вибрационного регулятора и точность поддержания заданного значения напряжения зависят от состояния его контактов и постоянства натяжения пружины.

Поэтому для регулирования напряжения мощных танковых генераторов стали применять бесконтактные регуляторы напряжения.

В бесконтактных регуляторах напряжения нет вибрирующего якорька, нет пружины, нет вообще движущихся частей. Все это устраняет те недостатки, которые присущи вибрационным регуляторам напряжения, и повышает надежность работы этого типа регуляторов.

В работе бесконтактных регуляторов напряжения используются свойства полупроводниковых приборов: транзисторов (полупроводниковых триодов) и стабилитронов (полупроводниковых диодов).

Как известно, транзистор при изменении полярности и величины напряжения, приложенного к зажимам эмиттер — база, изменяет свое сопротивление в очень широких пределах.

Если включить транзистор в цепь обмотки возбуждения генератора и автоматически изменять полярность и величину управляющего напряжения, то можно автоматически изменять ток возбуждения в зависимости от скорости вращения и, следовательно, поддерживать заданное значение напряжения генератора неизменным.

Обычно транзистор используют в режиме переключения: скачком изменяют величину управляющего напряжения. При этом транзистор работает в двух установившихся состояниях: «закрыт» и «открыт». Цепь возбуждения с транзистором в состоянии «открыт» эквивалентна цепи возбуждения с замкнутыми контактами вибрационного регулятора, а в состоянии «закрыт» — с разомкнутыми контактами, т. е. в цепь возбуждения включено $R_д$.

Автоматическое переключение транзистора из состояния «закрыт» в состояние «открыт» осуществляется при помощи специальной бесконтактной схемы, состоящей из сопротивлений, транзистора и стабилитрона.

Стабилитрон представляет собой кремниевый диод, обладающий следующим свойством: до определенного значения напряжения, приложенного к нему в обратном (непроводящем направлении), проводимость его мала и ток через стабилитрон практически не проходит. Начиная с некоторого значения напряжения, которое называется напряжением стабилизации ($U_{ст}$), проводимость стабилитрона резко повышается, и стабилитрон начинает проводить ток, причем ток значительно увеличивается почти при постоянном напряжении. Другими словами, при определенном значении напряжения, приложенного к стабилитрону, изменяется его проводимость, растет ток, проходящий через него, а падение напряжения на стабилитроне практически не изменяется. Так, например, для стабилитрона Д-813 при изменении тока в пределах 5—20 *ма* (рис. 7.10) напряжение стабилизации изменяется от 13 до 13,6 *в*.

Используя это свойство стабилитрона, можно осуществить автоматическое управление транзистором, включенным в цепь возбуждения генератора, т. е. создать схему бесконтактного регулятора напряжения.

Бесконтактный регулятор напряжения[1], собранный на стабилитронах и транзисторах, схема которого показана на рис. 7.11, состоит из двух основных элементов:

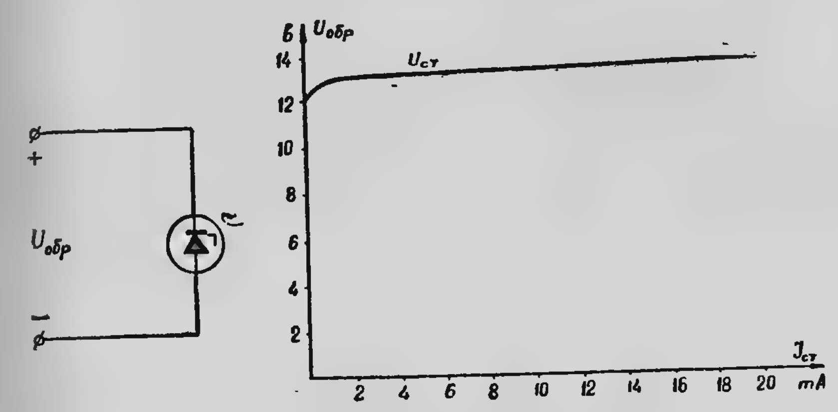


Рис. 7.10. Схема включения стабилитрона и зависимость между напряжением и током стабилитрона

— измерительного устройства *ИУ*, выполненного по схеме моста с управляемым транзистором Т1 и кремниевым стабилитроном Ст;

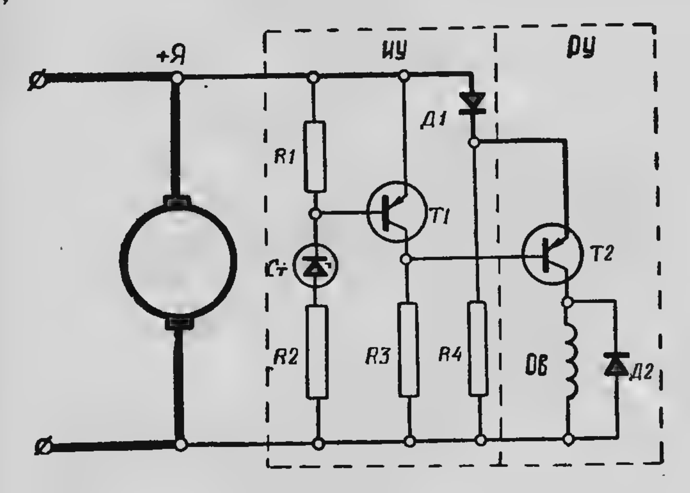


Рис. 7.11. Принципиальная схема бесконтактного регулятора напряжения

— регулирующего устройства *РУ*, функции которого выполняет транзистор Т2, включенный в цепь обмотки возбуждения генератора.

[1] Бесконтактный регулятор напряжения, схема которого показана на рис. 7.11, предложен и разработан доктором технических наук инженер-полковником Фесенко М. Н. в 1957 г.

Входным напряжением для измерительного устройства (рис. 7.12) является напряжение генератора. Выходным сигналом является напряжение диагонали моста, образованного транзистором T1, диодом *Д* и сопротивлениями R3 и R4.

Принцип действия измерительного устройства состоит в следующем.

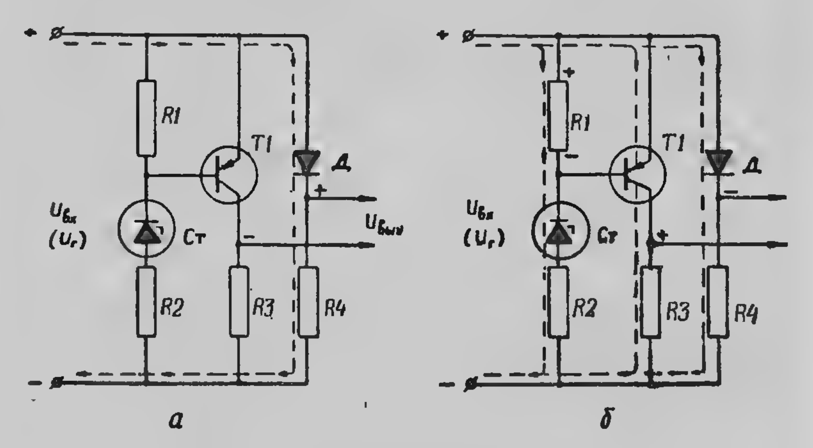


Рис. 7.12. Принципиальная схема бесконтактного измерительного устройства:

а — входное напряжение меньше напряжения пробоя стабилитрона; *б* — входное напряжение равно напряженню пробоя стабилитрона

Если напряжение генератора меньше напряжения пробоя стабилитрона, то ток в цепи сопротивление R1, стабилитрон, сопротивление R2 равен нулю и падение напряжения на сопротивлении R1 равно нулю. При этом транзистор T1 будет закрыт, внутреннее сопротивление его очень велико, вследствие чего выходное напряжение практически равно входному (участок *ОБ* на рис. 7.13).

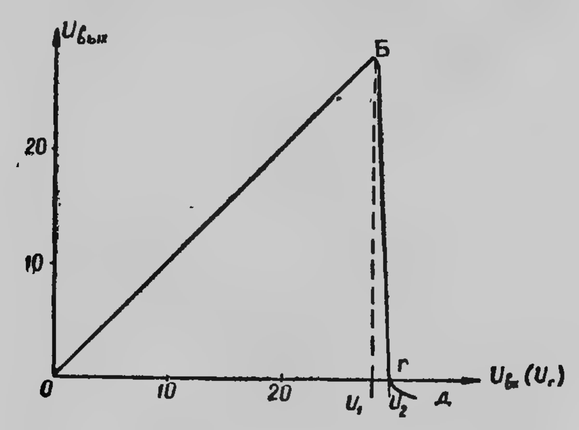


Рис. 7.13. Зависимость между входным и выходным напряжением измерительного устройства

Когда напряжение генератора достигнет величины пробоя стабилитрона, проводимость стабилитрона резко увеличивается и в цепи сопротивление R1, стабилитрон, сопротивление R2 появляется ток, который вызовет падение напряжения на сопротивлении R1 (на рис. 7.12 показан пунктиром). Это напряжение прикладывается к транзистору T1 в открывающем направлении: «плюс» — к эмиттеру, а «минус» — к базе. Транзистор T1 открывается, его внутреннее сопротивление резко уменьшается и становится меньше сопротивления диода *Д*. При этом выходное напряжение $U_{вых}$ резко уменьшается (рис. 7.13, участок *БГ*), а так как падение напряжения на транзисторе T1 в этом случае меньше падения напряжения на диоде *Д*, то выходное напряжение изменяет полярность (рис. 7.13, участок *ГД*).

Итак, при изменении напряжения генератора в пределах от U_1 до U_2 выходное напряжение измерительного устройства изменяется от напряжения, равного напряжению генератора, до нуля и становится отрицательным. Чем резче изменение напряжения (больше крутизна спада), тем меньше разность между значениями напряжения генератора U_1 и U_2, т. е. тем больше чувствительность измерительного устройства.

Максимальная чувствительность достигается в том случае, если $R_2=0$. Однако при этом характеристика измерительного устройства, а следовательно, и величина регулируемого напряжения зависят от температуры окружающей среды. Изменяя величину сопротивления R_2, можно осуществить постоянство регулируемого напряжения при изменении температуры.

Для удобства настройки (регулировки) на заданное напряжение в схему измерительного устройства введен делитель напряжения, состоящий из сопротивлений R15 и R16 (верхнее плечо делителя) и сопротивления R2 (нижнее плечо делителя) (рис. 7.14).

Определим зависимость регулируемого напряжения от параметров измерительного устройства.

На основании 2-го закона Кирхгофа в момент пробоя стабилитрона

$$U_г = U_1 + U_{ст} + I_2 R_2, \tag{7.7}$$

где $U_1 = I_1 R_1 = U_{э_1}$ — напряжение на сопротивлении R1;
$U_{ст}$ — напряжение на стабилитроне;
$I_2 = I_{15,16} + I_1 + I_{б_1}$ — ток, протекающий через сопротивление $R2$.

Но

$$I_{15,16} = \frac{U_{э_1} + U_{ст}}{R_{15,16}},$$

а

$$I_1 + I_{б_1} = \frac{U_{э_1}}{R_1} + \frac{U_г}{B_1 R_3},$$

где B_1 — коэффициент усиления транзистора T1 по току.

Следовательно,

$$I_2 = \frac{U_{э_1} + U_{ст}}{R_{15,16}} + \frac{U_{э_1}}{R_1} + \frac{U_г}{B_1 R_3}.$$

После подстановки значения I_2 в уравнение (7.7) и соответствующих преобразований найдем, что

$$U_г = U_{ст}\left(1 + \frac{R_2}{R_{15,16}}\right) + U_{э_1}\left(1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{R_{15,16}}\right). \qquad (7.8)$$

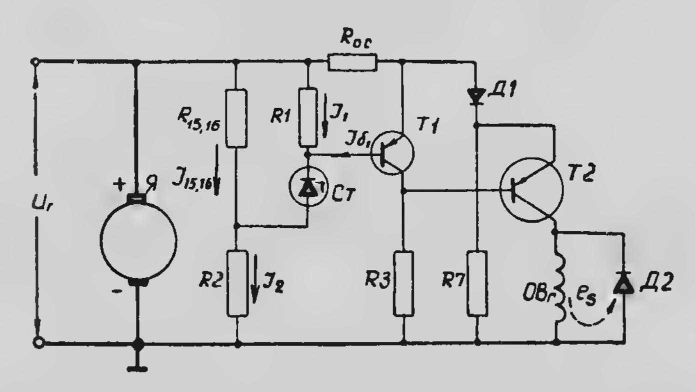


Рис. 7.14. Схема транзисторного регулятора напряжения с делителем напряжения

Анализ выведенного уравнения дает возможность сделать следующие выводы:

— напряжение генератора, поддерживаемое транзисторным регулятором, определяется напряжением пробоя стабилитрона и соотношением сопротивлений плеч делителя напряжения на входе *ИУ*, а также зависит от типа транзистора;

— настройка и регулировка уровня напряжения могут осуществляться изменением сопротивления R_{15}.

Выходной сигнал измерительного устройства приложен к эмиттеру и базе транзистора регулирующего устройства.

Функции регулирующего устройства (рис. 7.14) выполняет мощный транзистор Т2, в цепь коллектора которого включена обмотка возбуждения генератора. Для обеспечения самовозбуждения генератора необходимо, чтобы сопротивление транзистора было минимальным, т. е. транзистор должен быть открыт. Для этой цели к эмиттеру и базе транзистора Т2 должно быть приложено напряжение, открывающее транзистор: «плюс» — к эмиттеру, а «минус» — к базе. После достижения номинального напряжения генератора при дальнейшем увеличении скорости вращения якоря генератора необходимо переключить транзистор в состояние отсечки.

Необходимое значение тока возбуждения для обеспечения постоянства напряжения достигается путем изменения соотношения

времени нахождения транзистора в режиме «открыт» и в режиме «закрыт».

Бесконтактный регулятор работает следующим образом. При скорости вращения якоря генератора, меньшей минимальной, напряжение генератора ниже напряжения пробоя стабилитрона и падение напряжения на сопротивлении R1 (рис. 7.14) равно нулю. Управляющее напряжение транзистора Т1 также равно нулю, и, следовательно, транзистор Т1 находится в состоянии «закрыт». При этом выходное напряжение измерительного устройства велико и значительно больше напряжения, необходимого для открытия транзистора Т2. Благодаря этому транзистор Т2 находится в состоянии «открыт», его сопротивление минимально (что эквивалентно замкнутому состоянию контактов вибрационного регулятора) и ток возбуждения достигает максимального значения. Цепь тока возбуждения: зажим *+Я* генератора, диод Д1, эмиттер-коллекторный переход транзистора Т2, обмотка возбуждения *ОВ*, «минус» генератора.

Как только напряжение генератора превысит напряжение пробоя стабилитрона, через стабилитрон потечет ток, который создает падение напряжения на сопротивлении R1. Это напряжение приложено к транзистору Т1 в отпирающем направлении: «плюс» — к эмиттеру, а «минус» — к базе.

Следовательно, транзистор Т1 в этот момент будет «открыт», и сопротивление его становится ничтожно малым — меньше сопротивления диода *Д*. Поэтому падение напряжения на транзисторе Т1 в этом случае будет меньше, чем падение напряжения на диоде Д1. Благодаря этому управляющее напряжение измерительного устройства изменит знак, потенциал эмиттера транзистора Т2 станет меньше потенциала его базы и транзистор Т2 закроется.

Сопротивление его при этом увеличится, что вызовет снижение тока возбуждения и напряжения генератора (это соответствует разомкнутому состоянию контактов вибрационного регулятора напряжения).

По мере снижения напряжения генератора ток, проходящий через стабилитрон, уменьшается, транзистор Т1 вновь закрывается, вызывая открывание транзистора Т2, и весь процесс повторяется.

Таким образом, транзистор Т2, включенный в цепь обмотки возбуждения *ОВ*, автоматически переключается из состояния насыщения («открыт») в состояние отсечки («закрыт»).

Соотношение времени нахождения транзистора Т2 в открытом и закрытом состоянии изменяется в зависимости от скорости вращения якоря генератора: чем больше скорость вращения, тем больше время закрытого состояния транзистора Т2. Следовательно, пропорционально скорости вращения якоря генератора будет изменяться также и величина среднего значения сопротивления транзистора Т2, вследствие чего и ток возбуждения будет изменять свою величину, а напряжение генератора будет оставаться неизменным.

Бесконтактные регуляторы напряжения на полупроводниковых приборах являются универсальными и наиболее перспективными с точки зрения их применения в электрооборудовании бронетанковой техники.

§ 7.6. ЗАЩИТА ГЕНЕРАТОРА ОТ ПЕРЕГРУЗОК

При параллельной работе генератора с аккумуляторными батареями величина тока, отдаваемого генератором, зависит от состояния аккумуляторных батарей, числа и мощности включенных потребителей. При разряженных батареях и большой мощности включенных потребителей этот ток может оказаться чрезмерно большим, генератор будет перегружен и может выйти из строя.

Для защиты генератора от перегрузки применяется ограничитель тока.

Если в регуляторе напряжения (рис. 7.4) основную обмотку O подключить не параллельно обмотке якоря, а последовательно и включить ее в якорную цепь генератора так, чтобы по ней проходил весь ток, отдаваемый генератором, то такой регулятор будет реагировать на ток генератора.

Намагничивающая сила $F_п$ вибрационного регулятора с последовательной обмоткой равна

$$F_п = I_п w_п,$$

где $I_п$ — среднее значение тока последовательной обмотки $П$;
$w_п$ — число витков последовательной обмотки.

В соответствии с уравнением (7.3) можно написать

$$F_п = c_1 \frac{(I_п w_п)^2}{c_2^2 \delta^2} = F_{пр},$$

откуда

$$I_п = c \frac{\delta}{w_п} \sqrt{F_{пр}}.$$

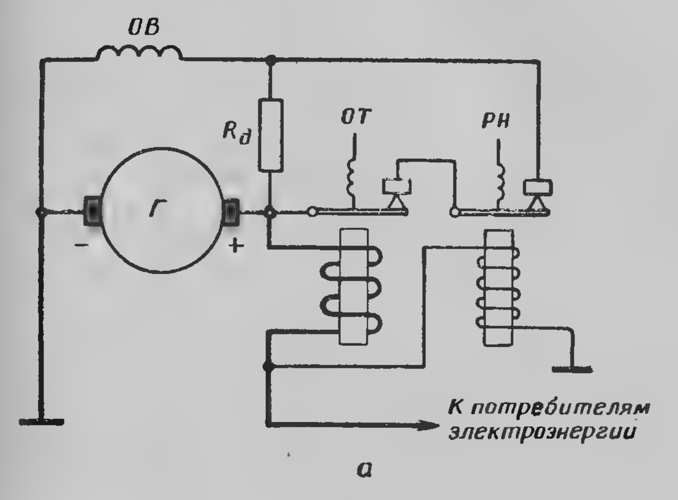
Следовательно, такой регулятор будет ограничивать ток генератора.

Так как при этом напряжение генератора не регулируется, то регулятор тока не находит самостоятельного применения, но широко используется в качестве вспомогательного аппарата, предохраняющего генератор от перегрузки при наличии основного регулятора напряжения.

Схема совместного включения регулятора напряжения и ограничителя тока показана на рис. 7.15, *а*.

При изменении тока генератора $I_г$ от нуля до максимально допустимой величины напряжение генератора регулируется регулятором напряжения, а ограничитель тока не работает. При увеличении нагрузки свыше той, на которую отрегулирован ограничитель тока, последний вступает в работу и напряжение генера-

тора уменьшается настолько, что его ток не превышает установленной величины (рис. 7.15, *б*). С уменьшением $U_г$ ниже того значения, на которое отрегулирован регулятор напряжения РН, по-



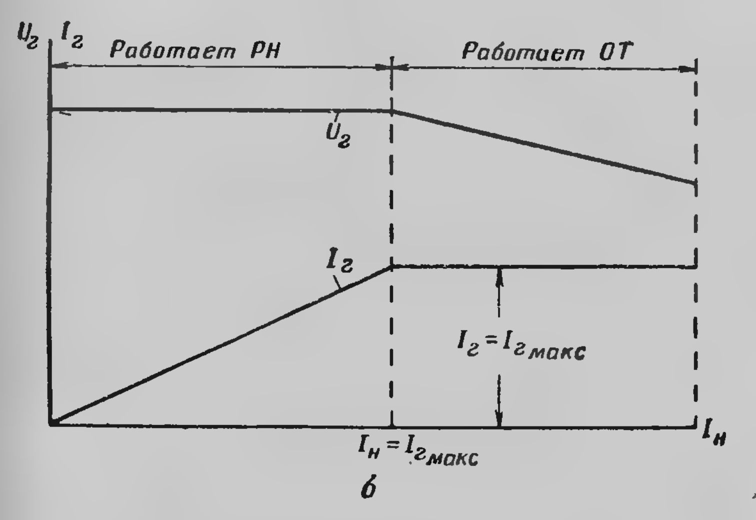


Рис. 7.15. Схема генератора с ограничителем тока и регулятором напряжения (*а*) и рабочая характеристика (*б*)

следний перестает работать, а контакты его остаются замкнутыми. Таким образом, регулятор напряжения и ограничитель тока одновременно не работают, вследствие чего для обоих аппаратов можно использовать одно добавочное сопротивление $R_д$.

Ограничитель тока так же, как и регулятор напряжения, регулируется путем изменения натяжения пружины $F_{пр}$. В случае необходимости увеличения частоты вибрации контактов в ограничителе тока так же, как и в схеме регулятора напряжения, применяется ускоряющая обмотка.

§ 7.7. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ МЕЖДУ ГЕНЕРАТОРОМ И АККУМУЛЯТОРНЫМИ БАТАРЕЯМИ

Генератор и аккумуляторные батареи в машине работают параллельно. Для определения условий их совместной работы необходимо учитывать, как распределяется нагрузка между ними.

При неработающем двигателе (или при работе двигателя с малой скоростью вращения) генератор отключен от бортовой сети и питание потребителей осуществляется только от аккумуляторных батарей.

При увеличении скорости вращения двигателя напряжение генератора растет и при определенном его значении (обычно при $U_г > E_{а,б}$) специальным автоматом обратного тока генератор подключается к бортовой сети. С этого момента генератор и аккумуляторные батареи работают параллельно. При этом параллельная работа генератора и аккумуляторных батарей должна осуществляться так, чтобы при включенных мощных потребителях питание нагрузки происходило главным образом от генератора, а аккумуляторные батареи при этом подзаряжались. При кратковременных перегрузках генератора необходимо, чтобы часть нагрузки питалась от аккумуляторных батарей.

Для того чтобы определить, как распределяется нагрузка между генератором и аккумуляторными батареями, воспользуемся упрощенной принципиальной схемой системы электрооборудования (рис. 7.16).

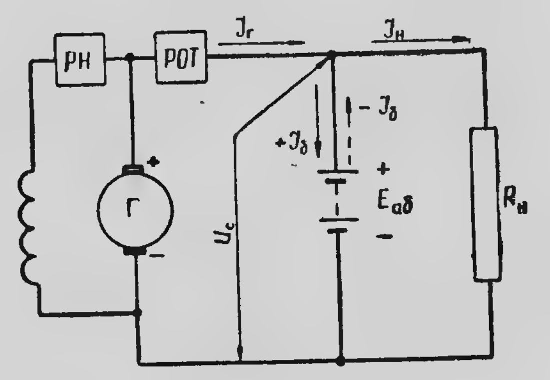


Рис. 7.16. Упрощенная принципиальная схема системы электрооборудования

В этой схеме все потребители заменены эквивалентным сопротивлением нагрузки $R_н$, величина которого может изменяться в зависимости от количества и мощности включенных потребителей.

Ток нагрузки, т. е. ток в цепи потребителей, будет определяться выражением

$$I_н = \frac{U_с}{R_н},$$

где $U_с$ — напряжение сети, измеренное на зажимах аккумуляторных батарей, с учетом падения напряжения на участке генератор — батареи.

Ток аккумуляторных батарей равен

$$I_б = \frac{U_с - E_{а.б}}{R_б}, \tag{7.9}$$

где $E_{а.б}$ — э. д. с. аккумуляторных батарей;

$R_б$ — внутреннее сопротивление батарей.

Ток генератора $I_г = I_н + I_б$.

Из выражения (7.9) видно, что для зарядки аккумуляторных батарей необходимо, чтобы напряжение сети $U_с$ было выше, чем э. д. с. батарей $E_{а.б}$, в противном случае ток батарей $I_б$ будет отрицательным, т. е. батарея будет разряжаться.

Величины и соотношения токов генератора, батарей и нагрузки можно определить по диаграмме параллельной работы генератора с аккумуляторными батареями (рис. 7.17). На диаграмме напряжение генератора $U_г$ изображено прямой, параллельной оси абсцисс, так как оно поддерживается постоянным с помощью автоматического регулятора напряжения.

Напряжение сети $U_с$ изображается падающей прямой:

$$U_с = U_г - I_г r_1,$$

где r_1 — сопротивление проводов от генератора к батареям.

С увеличением тока генератора падение напряжения на сопротивлении r_1 возрастает.

Напряжение же на зажимах батареи возрастает с увеличением зарядного тока и падает с увеличением разрядного тока. Полученные характеристики совмещены на одном графике. Напряжение на зажимах генератора и батареи в месте присоединения нагрузки принимаем равным $U_с$.

При токе нагрузки, равном нулю, точка пересечения характеристик напряжения сети и напряжения батареи (точка *1*) определяет величину зарядного тока батарей. В этом случае $I_{г_1} = I_{б_1}$.

При включении нагрузки (потребителей) напряжение сети снижается (точка *2*); распределение токов теперь определяется точками пересечений характеристик сети и батарей с горизонтальной пунктирной прямой, проведенной через точку *2*.

Как видно из графика, ток генератора $I_{г_2}$ увеличивается, ток батареи $I_{б_2}$ уменьшается, а ток нагрузки $I_{н_2}$ равен разности между ними:

$$I_{н_2} = I_{г_2} - I_{б_2}.$$

При дальнейшем увеличении нагрузки напряжение сети может уменьшиться до значения э. д. с. батареи. При этом зарядный ток станет равным нулю, а ток генератора будет равен току нагрузки (точка *3*):

$$I_{г_3} = I_{н_3}.$$

Нагрузка, соответствующая этому режиму, является предельной для длительной работы, так как батареи перестают заряжаться. При дальнейшем увеличении нагрузки напряжение сети станет меньше э. д. с. батареи (точка *4*); батарея будет разряжаться и совместно с генератором питать потребители. Такой режим допустим только на ограниченное время, например, при включении мощного электропривода, потребляющего большой ток.

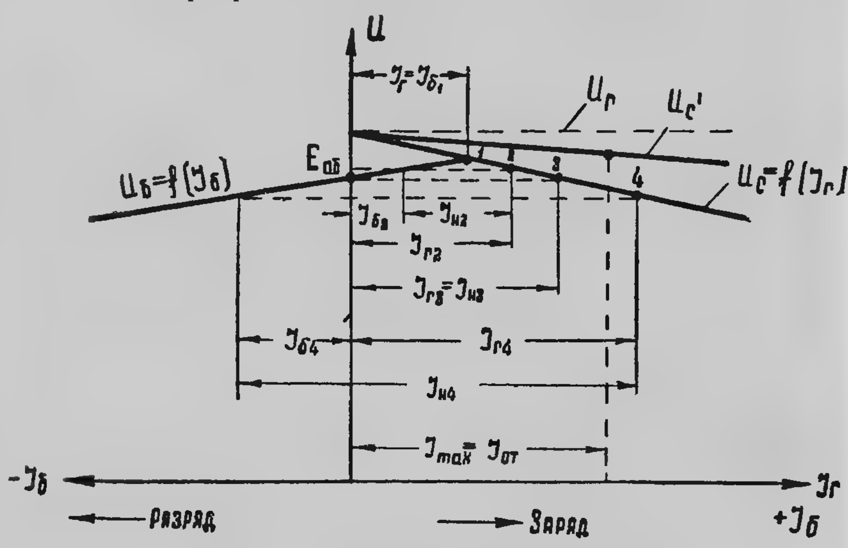


Рис. 7.17. Распределение нагрузки между генератором и батареями

Из диаграммы параллельной работы видно, что желаемое распределение тока нагрузки между генератором и батареями можно получить путем изменения наклона характеристики батареи или характеристики сети.

Изменение напряжения аккумуляторной батареи зависит от ее емкости и степени разряженности и поэтому для данной батареи является заданным.

Изменение напряжения сети в зависимости от величины тока нагрузки определяется системой регулирования напряжения генератора. Напряжение мощных генераторов регулируется так, что при изменении нагрузки оно практически не изменяется. При этом изменение напряжения сети от тока нагрузки определяется только величиной падения напряжения в проводах.

Как видно из рис. 7.17 (зависимость $U_с = f(I_г)$) нагрузка в данном случае увеличивается в большей степени за счет генератора,

а величина зарядного тока батареи практически не зависит от тока нагрузки.

Если имеют место длительные перегрузки, то необходимо ограничивать ток генератора специальным автоматическим устройством — ограничителем тока.

При включении ограничителя тока дальнейшее увеличение нагрузки приведет к уменьшению напряжения сети и перераспределению нагрузки между батареями и генератором.

§ 7.8. ЗАЩИТА ГЕНЕРАТОРА ОТ ОБРАТНЫХ ТОКОВ

При параллельной работе генератора с аккумуляторными батареями на бортовую сеть напряжение генератора $U_г$ должно превышать э. д. с. аккумуляторных батарей $E_{а.б}$. В этом случае генератор будет заряжать аккумуляторные батареи; величина зарядного тока при этом определяется соотношением

$$I_з = \frac{U_г - E_{а.б}}{R_б},$$

где $R_б$ — сопротивление аккумуляторных батарей.

При небольших скоростях вращения якоря генератора (когда $n < n_{min}$) напряжение генератора $U_г$ меньше $E_{а.б}$. При этом батареи будут разряжаться и от них к генератору потечет обратный (разрядный) ток. Вследствие того что внутреннее сопротивление батарей и сопротивление обмотки якоря генератора составляют сотые доли ома, разрядный ток будет чрезмерно велик. Это может привести как к повреждению генератора, так и к разрядке аккумуляторных батарей. Поэтому генератор должен подключаться к аккумуляторным батареям и бортовой сети лишь тогда, когда его напряжение будет выше напряжения аккумуляторных батарей ($U_г > E_{а.б}$), и автоматически отключаться от батарей и сети, когда $U_г < E_{а.б}$.

Эти функции выполняются автоматом обратного тока — реле обратного тока или дифференциальным минимальным реле.

Автомат обратного тока (реле обратного тока) имеет две обмотки (рис. 7.18): основную *О*, включенную параллельно обмотке якоря, и последовательную *П*, включенную последовательно с обмоткой якоря генератора.

Контакты реле обратного тока в противоположность регулятору напряжения удерживаются пружиной в разомкнутом состоянии.

Реле обратного тока работает следующим образом.

При увеличении напряжения генератора основная обмотка реле намагничивает сердечник, а при некотором значении напряжения генератора, так называемом н а п р я ж е н и и   в к л ю ч е н и я $U_{вкл}$, якорь притягивается и замыкает контакты. Величина напряжения включения выбирается несколько большей, чем э. д. с. аккумуляторных батарей,

Напряжение включения реле обратного тока определяется так же, как для регулятора напряжения, и равно

$$U_{вкл} = c\frac{r_0}{w_0}\delta_р\sqrt{F_{пр}},$$

где $\delta_р$ — воздушный зазор между якорем и сердечником при разомкнутых контактах;

r_0, w_0 — сопротивление и число витков основной обмотки реле;

$F_{пр}$ — сила натяжения пружины.

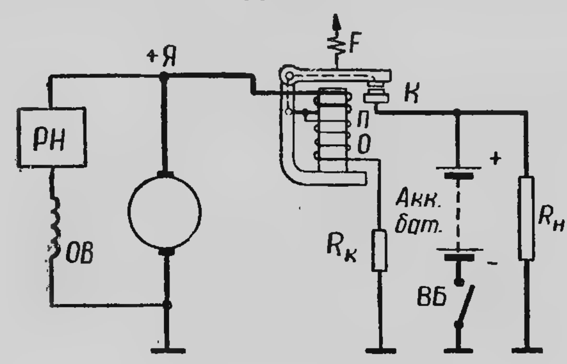


Рис. 7.18. Схема реле обратного тока

Из этого равенства видно, что напряжение включения реле может регулироваться изменением натяжения пружины или зазора между якорем и сердечником при разомкнутых контактах.

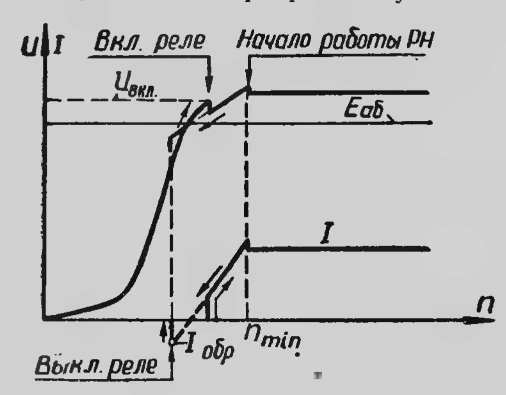


Рис. 7.19. Характеристики генератора с реле обратного тока и регулятором напряжения

В тот момент, когда якорь притянется, контакты реле замкнутся и генератор станет питать потребители, вследствие чего напряжение на зажимах генератора скачком уменьшится на величину падения напряжения в его якоре (рис. 7.19).

При этом ток генератора, проходящий по последовательной обмотке, подмагничивает сердечник и тем самым якорь еще сильнее притягивается к нему, чем обеспечивается надежное удержание контактов в замкнутом состоянии.

При уменьшении напряжения генератора, когда оно станет ниже э. д. с. батареи, от батарей к генератору потечет обратный ток. Этот ток по последовательной обмотке автомата пойдет в обратном направлении (отметим, что при этом направление тока в основной обмотке сохраняется неизменным). Последовательная обмотка будет теперь противодействовать основной, вследствие чего магнитный поток сердечника будет уменьшаться, и при определенной величине обратного тока контакты под действием пружины разомкнутся. Генератор отключится от батареи.

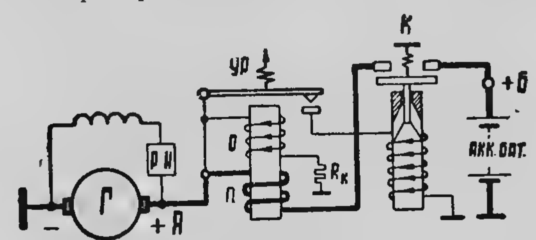


Рис. 7.20. Схема двухкаскадного реле обратного тока

Конструкция и размеры контактов реле обратного тока обеспечивают работу последнего при токе генератора не выше 50—60 *а*. Поэтому в генераторах с номинальным током 100 *а* и выше, применяют двухкаскадный автомат обратного тока, состоящий из управляющего реле *УР* и контактора *К*. Схема двухкаскадного автомата обратного тока показана на рис. 7.20. Поясним работу схемы.

При напряжении включения срабатывает управляющее реле *УР*, которое, замыкая свои контакты, включает обмотку контактора *К*. Контактор срабатывает и замыкает свои силовые контакты, подключая генератор на зарядку батарей и питание потребителей. При этом ток, проходящий через последовательную обмотку *П* управляющего реле, подмагничивает сердечник, чем обеспечивается надежное удержание контактов *УР* в замкнутом состоянии. При снижении напряжения генератора ниже э. д. с. батарей изменяется направление тока в последовательной обмотке управляющего реле и сохраняется неизменным направление тока в основной обмотке. Вследствие этого сердечник размагничивается и контакты *УР* под действием пружины размыкаются. При этом обесточивается обмотка контактора и под действием пружины размыкаются контакты контактора, а генератор отключается от батарей и потребителей.

Дифференциальное минимальное реле. Из описания работы автомата обратного тока видно, что напряжение включения автомата

не зависит от степени заряженности аккумуляторных батарей и определяется силой натяжения пружины.

Вследствие этого такой автомат обратного тока имеет ряд особенностей:

— при включении генератора в бортовую сеть при сильно разряженных батареях возможны большие броски зарядного тока, что перегружает генератор;

— если напряжение включения автомата обратного тока, зависящее от силы натяжения пружины, будет меньше напряжения аккумуляторных батарей (например, $U_{вкл}=25$ *в*, $U_{а, б}=26$ *в*), то возможна работа автомата обратного тока в режиме «звонка» («хлопанья») контактов.

Действительно, если контакты автомата обратного тока (рис. 7.18) замкнутся при напряжении генератора, равном 25 *в*, а напряжение аккумуляторных батарей в этот момент будет равно 26 *в*, то ток потечет от аккумуляторных батарей и по последовательной обмотке *П* автомата обратного тока он будет идти в обратном направлении. Вследствие этого результирующая намагничивающая сила окажется меньше силы пружины $F_{пр}$ и контакты под действием пружины вновь разомкнутся. При этом под напряжением генератора 25 *в* окажется только одна обмотка *О* (так как цепь последовательной обмотки *П* разорвана разомкнувшимися контактами), в результате чего контакты вновь замкнутся и весь процесс повторится.

Перечисленных выше недостатков нет в **дифференциальном минимальном реле (ДМР).** Дифференциальное минимальное реле выполняет те же функции, что и автомат обратного тока.

Дифференциальным оно называется потому, что подключает генератор к батареям только в том случае, когда напряжение генератора превышает напряжение батарей, т. е. реле реагирует на разность напряжений генератора и батарей.

Абсолютное значение напряжения генератора при включении дифференциального реле может быть различным в зависимости от степени разряженности батарей.

Дифференциальное минимальное реле (рис. 7.21) состоит из следующих основных элементов:

— контактора (*К*);
— управляющего реле;
— включающего реле;
— предохранительного реле.

Контактор *К* представляет собой втяжной электромагнит, контакты которого включены в зарядную цепь. Включается контактор с помощью управляющего реле.

Управляющее реле является поляризованным реле. В нем наряду с магнитными потоками, которые создаются током, проходящим по дифференциальной обмотке *Д* и по последовательной обмотке *П*, имеется магнитный поток, создаваемый постоянными магнитами. Такое реле реагирует не только на величину тока, но и на его направление. Поэтому положение якоря этого реле зависит от величины и направления тока в дифференциальной *Д* и последовательной *П* обмотках.

Включающее реле предназначено для включения дифференциальной обмотки *Д* управляющего реле на разность напряжений генератора и аккумуляторных батарей.

Включающее реле имеет две пары замыкающихся (нормально разомкнутых) контактов: одна пара (1—2) включена в цепь дифференциальной обмотки управляющего реле, вторая пара (1—3) — в цепь обмотки контактора. Напряжение срабатывания включающего реле 14 *в*.

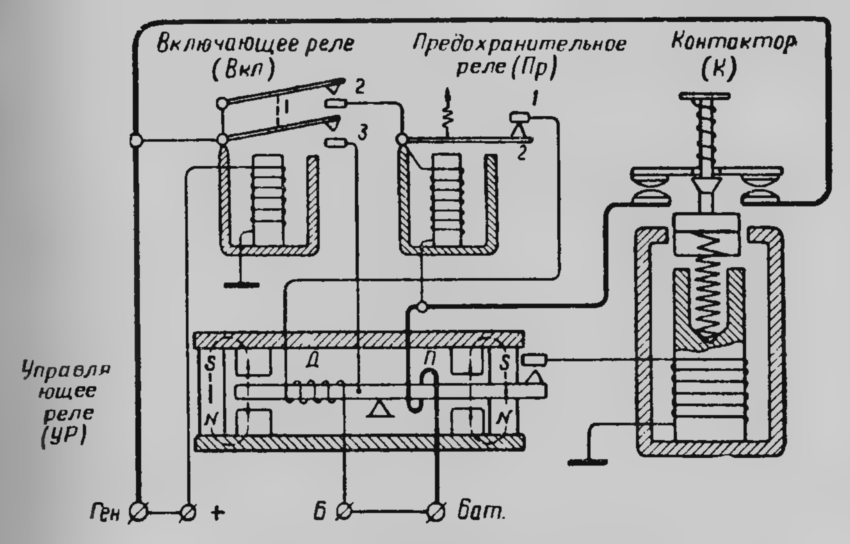


Рис. 7.21. Дифференциальное минимальное реле

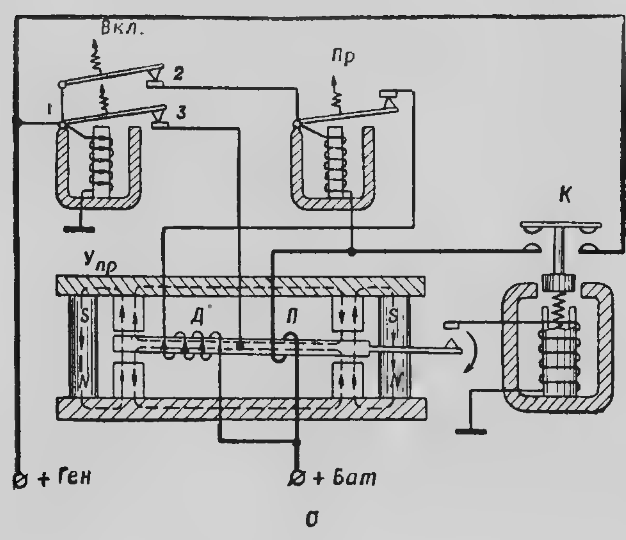
Предохранительное реле предназначено для защиты дифференциальной обмотки управляющего реле от перегрузки. При напряжении, приложенном к обмотке реле и превышающем 14 *в*, контакты реле размыкаются и дифференциальная обмотка управляющего реле отключается.

Работает ДМР следующим образом.

При увеличении напряжения генератора до значения, равного 14 *в*, срабатывает включающее реле (рис. 7.22, *а*), которое своими контактами 1—2 включает цепь дифференциальной обмотки управляющего реле. При этом по дифференциальной обмотке, включенной на разность напряжений генератора и батареи, ток идет от батареи к генератору, так как напряжение генератора ниже напряжения батареи.

Магнитный поток, создаваемый этой обмоткой, суммируется с магнитным потоком постоянных магнитов так, что результирующий магнитный поток поворачивает якорь реле по ходу часовой стрелки. Следовательно, контакты управляющего реле разомкну-





Uген−Еаб > 0,3÷0,7в

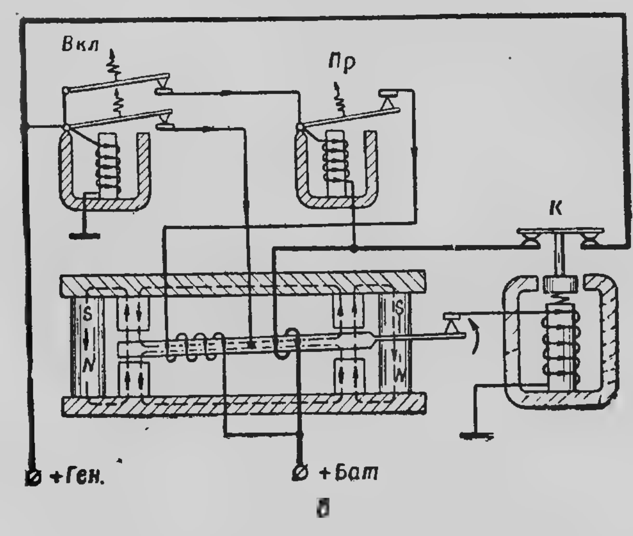


Рис. 7.22. Последовательность работы дифференциального минимального реле:
а — при $U_г=14$ *в*; *б* — при $U_г - E_{а.б}>0{,}3$—$0{,}7$ *в*

ты, обмотка контактора обесточена, контакты его разомкнуты и генератор отключен от бортовой сети.

При увеличении напряжения генератора ток, проходящий через дифференциальную обмотку реле, уменьшается и при равенстве напряжений генератора и батареи равен нулю, а при дальнейшем увеличении напряжения генератора меняет знак. В этом случае магнитный поток, создаваемый дифференциальной обмоткой, суммируется с магнитным потоком постоянных магнитов так, что результирующий магнитный поток поворачивает якорь реле против хода часовой стрелки (рис. 7.22, *б*) и при превышении напряжения генератора над э. д. с. батарей на 0,3—0,7 *в* контакты дифференциального реле замыкаются. При этом включается обмотка контактора и он, замыкая свои контакты, включает генератор на зарядку батарей и питание потребителей. Дифференциальная обмотка реле шунтируется контактами контактора, но вследствие того, что по последовательной обмотке идет зарядный ток, контакты дифференциального реле надежно удерживаются в замкнутом состоянии, обеспечивая включение обмотки контактора.

Так как включение генератора происходит в тот момент, когда его напряжение превышает напряжение батарей на 0,3—0,7 *в*, то при любом состоянии батарей начальный зарядный ток не может быть большим.

В том случае, когда напряжение генератора станет меньше напряжения батарей, по последовательной обмотке *П* управляющего реле ток пойдет в обратном направлении и при определенном значении обратного тока контакты управляющего реле разомкнутся и разорвут цепь обмотки контактора.

Контакты контактора разомкнутся под действием пружины, и генератор отключится от батарей и потребителей. При размыкании контактов контактора разорвется также цепь последовательной обмотки *П*. Однако контакты управляющего реле будут находиться в разомкнутом состоянии, так как по дифференциальной обмотке от батарей к генератору будет проходить ток, чем обеспечивается удержание контактов реле в разомкнутом состоянии. При дальнейшем уменьшении напряжения генератора срабатывает предохранительное реле (разность напряжения батарей и напряжения генератора превышает 14 *в*) и своими контактами разрывает цепь дифференциальной обмотки управляющего реле, предохраняя ее от перегрева. При напряжении генератора 4 *в* отключается включающее реле и вся схема приходит в исходное состояние.

Необходимо отметить, что применение дифференциального минимального реле исключает возможность включения переполюсованного генератора.

Действительно, если генератор переполюсован, т. е. «плюс» генератора соединен с «минусом» аккумуляторных батарей, а «плюс» батарей — с «минусом» генератора, ток по дифференциальной обмотке управляющего реле идет от батарей к генератору, благодаря чему, как это было рассмотрено выше, якорь реле повернется по ходу часовой стрелки и контакты управляющего реле разом-

кнутся. При этом цепь обмотки контактора разорвется и, следовательно, генератор не может быть включен в бортовую сеть танка.

В этом случае срабатывает также предохранительное реле, так как к его обмотке будет приложена сумма напряжений генератора и аккумуляторных батарей, которая значительно превышает напряжение срабатывания предохранительного реле, равного 14 *в*. Поэтому контакты предохранительного реле разомкнутся и разорвут цепь дифференциальной обмотки управляющего реле, предохраняя ее от перегрузки.

§ 7.9. КОНСТРУКЦИЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ГЕНЕРАТОРОВ И РЕЛЕ-РЕГУЛЯТОРОВ

Генератор Г-5 с реле-регулятором Р-5М

Танковый генератор Г-5 мощностью 5000 *вт* и напряжением 28 *в* представляет собой шестиполюсную машину постоянного тока смешанного возбуждения (рис. 7.23). Генератор Г-5 работает с реле-регулятором Р-5М. Основные технические данные генератора Г-5 приведены в табл. 7.1.

Реле-регулятор Р-5М (рис. 7.24) состоит из управляющего реле *УР*, контактора *К* (в совокупности представляющие двухкаскадный автомат обратного тока) и двух регуляторов напряжения: $РН_1$ и $РН_2$. С передней стороны корпуса расположены четыре экранированных зажима: «+Я», «+Б» и два зажима «Ш».

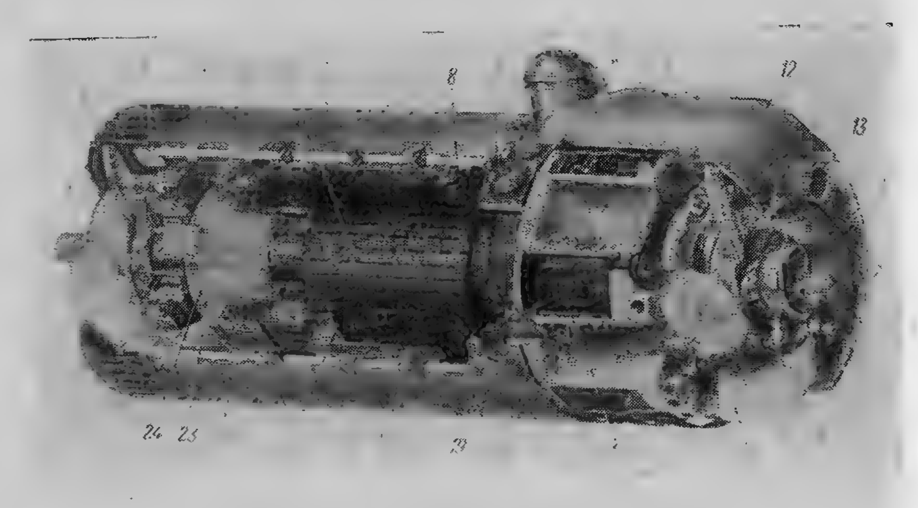


Рис. 7.23. Устройство генератора Г-5:

1 — вытяжной вентилятор; *2* — кожух вытяжного вентилятора; *3* — крышка генератора со стороны привода; *4* — корпус генератора; *5* — обмотка якоря; *6* — якорь генератора; *7* — сердечник дополнительного полюса; *8* — обмотка дополнительного полюса; *9* — экранированные выводы обмоток возбуждения; *10* — экранированный вывод «+Я»; *11* — защитная лента коллектора; *12* — направляющий щиток наружного обдува; *13* — кожух направляющего вентилятора; *14* — направляющая чашка внутренней вентиляции; *15* — внутренняя крыльчатка нагнетающего вентилятора; *16* — наружная крыльчатка нагнетающего вентилятора; *17* — щеткодержатель; *18* — крышка генератора со стороны коллектора; *19* — болт крепления крышки к корпусу генератора; *20* — сердечник основного полюса; *21* — обмотка возбуждения основного полюса; *22* — пылезащитный кожух; *23* — пылезащитное кольцо; *24* — внутренний вентилятор

С левой стороны корпуса расположена рукоятка регулировочного реостата, позволяющего изменять регулируемое напряжение в пределах ±1 *в*.

На рис. 7.25 показана полумонтажная схема генератора Г-5 с реле-регулятором Р-5М. Регулирование напряжения Р-5М осуществлено по схеме регулятора с ускоряющим сопротивлением.

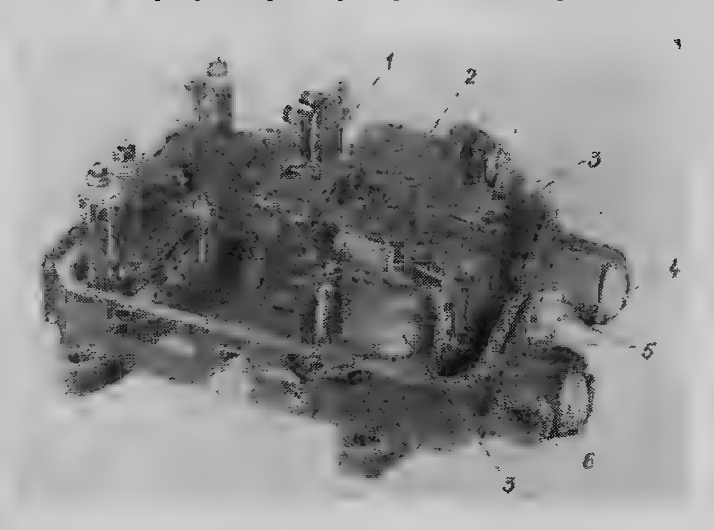


Рис. 7.24. Общий вид реле-регулятора Р-5М без крышки:

1 — управляющее реле; *2* — контактор; *3* — регуляторы напряжения; *4* — зажим «+Б»; *5* — зажимы «Ш»; *6* — зажим «+Я»

Для уменьшения искрения в реле-регуляторе Р-5М применены специальные искрогасящие контуры — по одному для каждой обмотки возбуждения. В контур входят: ветвь обмотки возбуждения, ускоряющая обмотка регулятора напряжения (У1 или У2) и шунтирующие диоды (Д1 или Д2).

Наличие этих контуров уменьшает скорость изменения тока возбуждения, а следовательно, уменьшает искрение на контактах. Однако при этом частота вибрации якоря регулятора уменьшается. Включенная в этот контур ускоряющая обмотка обеспечивает увеличение частоты вибрации контактов регулятора напряжения.

Выравнивающие обмотки В1 и В2 обеспечивают согласованную работу обоих регуляторов напряжения и поддержание стабильного напряжения при увеличении скорости вращения генератора.

Управляющее реле *УР* автомата обратного тока предназначено для управления контактором. На управляющем реле имеются три обмотки: основная $О_{ур}$, последовательная $П_{ур}$ и вспомогательная $В_{сп}$. Контакты управляющего реле при неработающем генераторе удерживаются пружиной в разомкнутом состоянии.

Контактор *К* служит для подключения генератора к бортовой сети и для отключения генератора от бортовой сети. В контакторе имеются две обмотки: втягивающая *ОВт* и удерживающая *ОУд*.

Генератор Г-5 может длительно отдавать ток 180 *а*, а кратковременно до 300 *а*, поэтому в реле-регуляторе Р-5М нет ограничителя тока.

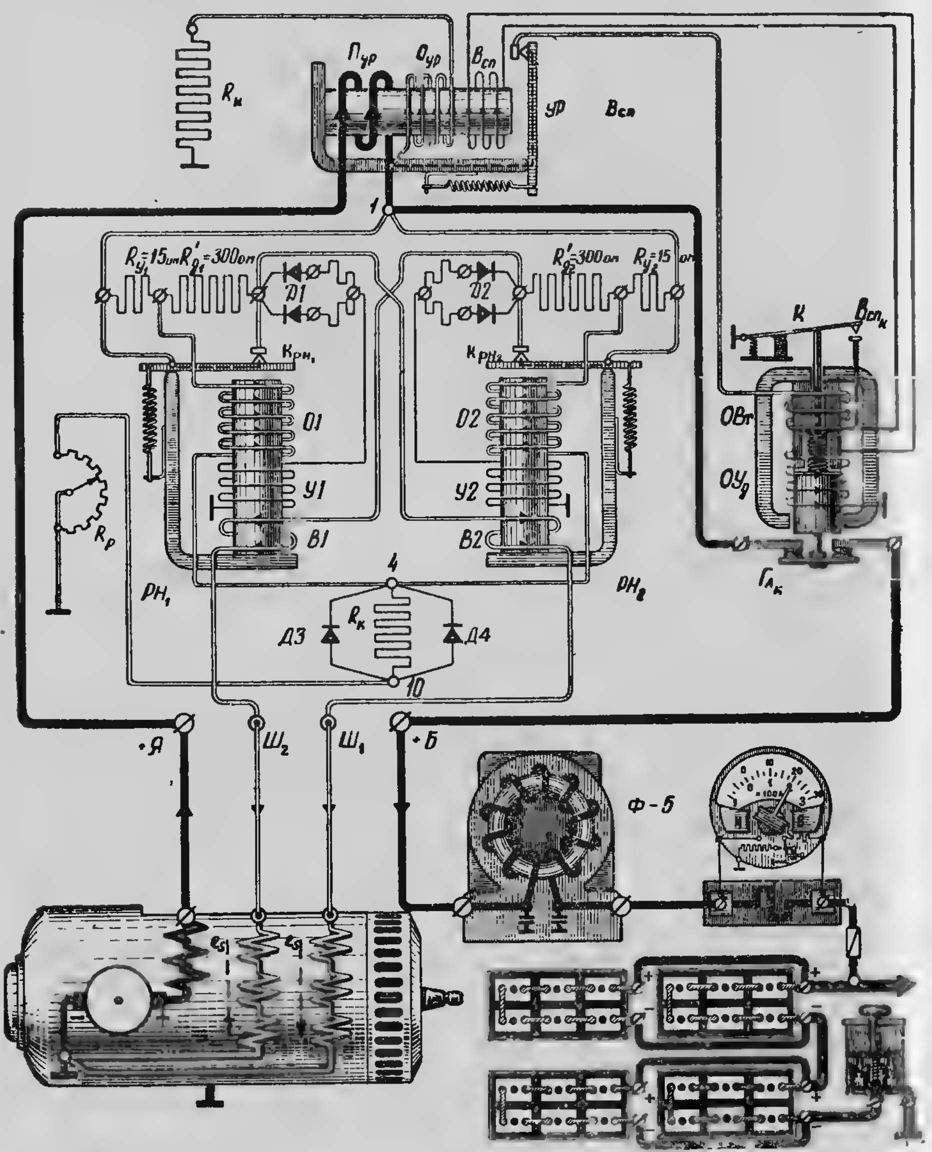


Рис. 7.25. Полумонтажная схема генератора Г-5 с реле-регулятором Р-5М

Напряжение, поддерживаемое регулятором, а также напряжение включения управляющего реле автомата обратного тока не должно зависеть от изменения температуры окружающей среды.

Известно, что напряжение, поддерживаемое регулятором, меняется пропорционально изменению сопротивления r_0 основной обмотки. Это сопротивление при нагреве сильно возрастает, так как основная обмотка выполнена из меди, а температурный коэффициент меди равен 0,4% на 1° С. Поэтому нагрев медной обмотки на 60° С повышает ее сопротивление на 24%.

Для того чтобы уменьшить влияние температуры на работу реле-регулятора, последовательно с основными обмотками управляющего реле автомата обратного тока и регулятора напряжения, выполненными из меди, включают добавочное сопротивление из константана $R_к$, обладающего очень малым температурным коэффициентом. Соотношение сопротивлений медной основной обмотки и добавочного константанового сопротивления подбирают так, чтобы величина суммарного сопротивления цепи основной обмотки при нагреве практически не изменялась, а следовательно, и регулируемое напряжение оставалось неизменным.

Реле-регулятор Р-5М работает следующим образом.

При малой скорости вращения генератора, когда напряжение генератора меньше напряжения аккумуляторных батарей, контакты управляющего реле и контактора разомкнуты и генератор отключен от бортовой сети, а контакты регуляторов напряжения замкнуты.

При этом ток возбуждения будет протекать по следующей цепи: зажим +*Я* генератора, обмотка $П_{ур}$, зажим *1*, замкнутые контакты регулятора $РН_1$, выравнивающая обмотка В2, зажим $Ш_1$ первой ветви обмотки возбуждения, минусовая щетка, корпус генератора. Аналогично ток будет протекать через контакты регулятора $РН_2$ во вторую ветвь обмотки возбуждения.

Одновременно питаются основные обмотки регуляторов напряжения и автомата обратного тока.

Цепь основной обмотки регулятора напряжения: зажим +*Я* генератора, обмотка $П_{ур}$, зажим *1*, ускоряющее сопротивление $R_{у_1}$, обмотка О1 регулятора, константановое сопротивление $R_к$, зажим *10*, регулировочное сопротивление $R_р$, корпус. Аналогично ток пойдет от зажима *1* через сопротивление $R_{у_2}$ в цепь обмотки О2 второго регулятора.

Цепь основной обмотки управляющего реле: зажим +*Я* генератора, обмотка $П_{ур}$, основная обмотка *О*, сопротивление температурной компенсации $R_к$, корпус.

С увеличением скорости вращения якоря напряжение генератора растет. Когда напряжение генератора достигнет 25,5—27 *в*, т. е. напряжение генератора становится больше напряжения аккумуляторных батарей, срабатывает управляющее реле и, замыкая свои контакты, включает втягивающую обмотку *ОВт* контактора.

Втягивающая обмотка *ОВт* контактора, обладая малым сопротивлением, создает большую намагничивающую силу, благодаря чему якорь контактора энергично втягивается. При этом главные контакты $Гл_к$ замыкаются, а вспомогательные $Всп_к$ — размыкаются. При замыкании главных контактов генератор включается на зарядку батарей и питание потребителей.

Зарядный ток протекает по следующей цепи: зажим *+Я* генератора, последовательная обмотка $П_{ур}$, зажим *1*, замкнутые главные контакты контактора, зажим *Б*, фильтр подавления радиопомех, шунт амперметра, зажим «+» батареи, корпус.

В этом случае последовательная обмотка $П_{ур}$ действует согласно с основной обмоткой, чем обеспечивается надежное удержание контактов управляющего реле в замкнутом состоянии.

При размыкании вспомогательных контактов контактора последовательно с втягивающей обмоткой контактора включаются вспомогательная обмотка *Всп* управляющего реле и удерживающая обмотка *ОУд* контактора. Сопротивление удерживающей обмотки велико, поэтому величина потребляемого тока значительно уменьшается, но является достаточной для того, чтобы создаваемая им намагничивающая сила удерживала главные контакты в замкнутом состоянии; включенная вспомогательная обмотка *Всп* управляющего реле действует согласно с основной обмоткой, создавая дополнительную намагничивающую силу, обеспечивающую надежное удержание контактов управляющего реле в замкнутом состоянии.

Когда напряжение генератора достигнет регулируемой величины (27—29 *в*), вступают в действие регуляторы напряжения. При срабатывании одного из регуляторов, например первого, контакты $К_{РН_1}$ разомкнутся. При этом разорвется цепь выравнивающей обмотки В2 и прекратится ее размагничивающее действие. Вследствие этого сразу же разомкнутся контакты второго регулятора напряжения $К_{РН_2}$.

При размыкании контактов $К_{РН_1}$ и $К_{РН_2}$ последовательно каждой ветви обмотки возбуждения включается сопротивление $(R_у + R_д)$, равное 315 *ом*.

В результате этого ток возбуждения и напряжение генератора несколько уменьшатся и уменьшится магнитный поток полюсов. При этом в обмотке возбуждения индуктируется электродвижущая сила самоиндукции. Направление э. д. с. самоиндукции в обеих ветвях обмотки возбуждения (на рис. 7.25 показано пунктирными стрелками) совпадает с прямым (проводящим) направлением шунтирующих диодов Д1 и Д2 в цепях ускоряющих обмоток У1 и У2. Поэтому обе ветви обмотки возбуждения оказываются замкнутыми на ускоряющие обмотки регуляторов напряжения. Цепь э. д. с. самоиндукции: первая ветвь обмотки возбуждения, корпус, ускоряющая обмотка У1, шунтирующий диод Д1, выравнивающая обмотка В2, зажим $Ш_1$ первой ветви обмотки возбуждения. Аналогична будет цепь и для второй ветви.

Наличие этого контура уменьшает скорость спада тока возбуждения, что снижает э. д. с. самоиндукции и уменьшает искрение на контактах регулятора напряжения. А так как при этом уменьшается частота вибрации контактов, то в этот контур включают ускоряющую обмотку. Проходящий через ускоряющую обмотку импульс тока от э. д. с. самоиндукции обмотки возбуждения действует встречно по отношению к току основной обмотки и, размагничивая сердечники регулятора, ускоряет замыкание контактов.

Повышение частоты вибрации контактов обеспечивается также применением ускоряющего сопротивления $R_у$.

При замыкании контактов $К_{РН_1}$ и $К_{РН_2}$ сопротивления $(R_у + R_д)$ шунтируются ими и происходит нарастание тока возбуждения и напряжения генератора до тех пор, пока вновь не сработают регуляторы напряжения.

Таким образом, якоря регуляторов напряжения непрерывно вибрируют, включая в цепь возбуждения добавочное сопротивление, и напряжение генератора поддерживается постоянным.

Когда напряжение генератора станет меньше 25,5—27 *в* (станет меньше э. д. с. аккумуляторных батарей), от батарей к генератору потечет обратный ток. В этом случае ток, протекающий по последовательной обмотке $П_{ур}$, будет действовать встречно по отношению к току основной обмотки *О*. В результате этого намагничивающая сила уменьшится и при определенной величине обратного тока (15—35 *а*) контакты управляющего реле под действием пружины разомкнутся. При этом обесточатся обмотки контактора и под действием пружин разомкнутся главные контакты контактора: генератор будет автоматически отключен от аккумуляторных батарей и потребителей.

Если генератор Г-5 переполюсован («+» генератора соединен с корпусом), то регуляторы напряжения поддерживают напряжение генератора ниже, чем напряжение срабатывания управляющего реле, что исключает возможность включения в бортовую сеть переполюсованного генератора.

Это осуществляется благодаря включению двух диодов Д3 и Д4 параллельно термокомпенсационному сопротивлению $R_к$ основных обмоток регуляторов напряжения.

Если генератор имеет правильную полярность, то через диоды Д3 и Д4 ток не проходит, так как они включены в непроводящем направлении. Благодаря этому сопротивление $R_к$ включено в цепь основных обмоток регуляторов напряжения и регуляторы поддерживают определенное (заданное) напряжение. Если же генератор переполюсован («+» генератора соединен с корпусом), то через диоды Д3 и Д4 проходит ток, так как они включены в проводящем направлении и шунтируют сопротивление $R_к$.

Вследствие этого суммарное сопротивление цепи основной обмотки *О* регулятора уменьшается и регуляторы напряжения будут поддерживать пониженное напряжение, величина которого будет

меньше напряжения срабатывания управляющего реле. Следовательно, переполюсованный генератор в бортовую сеть включен не будет.

Генератор Г-6,5 с реле-регулятором Р-10ТМ

Генератор Г-6,5 мощностью 6500 *вт* и напряжением 28 *в* представляет собой шестиполюсную машину постоянного тока смешанного возбуждения защищенного исполнения.

Основные технические данные генератора Г-6,5 приведены в табл. 7.1.

Основными частями генератора являются: корпус, якорь, крышка со стороны коллектора и крышка со стороны привода.

Корпус генератора имеет шесть основных и три дополнительных полюса. Обмотка возбуждения основных полюсов разделена на две параллельные ветви (рис. 7.26). Дополнительные

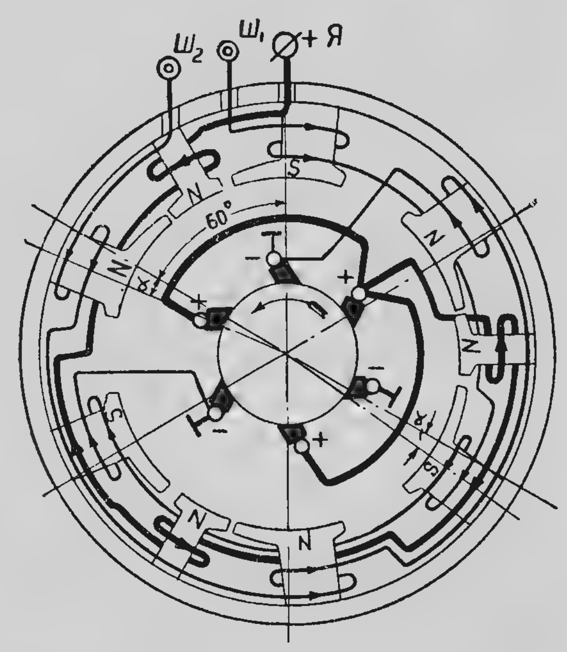


Рис. 7.26. Схема соединения обмоток генератора Г-6,5

полюсы предназначены для уменьшения искрения под щетками. Ввиду недостатка места для их размещения сердечники основных полюсов сдвинуты относительно своих башмаков в разные стороны, что позволило поместить между ними обмотки дополнительных полюсов, сохранив нормальное распределение магнитного потока в воздушном зазоре генератора. Катушки дополнительных полюсов выполнены из шинной меди и соединены между собой последовательно.

Для того чтобы генератор отдавал полную мощность при меньшей начальной скорости вращения, использовано подмагничивающее действие проводов, соединяющих катушки дополнительных полюсов. С этой целью провода расположены так, что образуют по одному полувитку последовательной обмотки на трех основных полюсах. Вследствие этого минимальная скорость вращения генератора, при которой он отдает полную мощность, снижена до 3000 *об/мин*.

Катушки возбуждения изолированы термостойкими материалами и после установки их в корпусе генератора пропитываются кремнийорганическим лаком.

Пакет якоря генератора Г-6,5 собран из тонкой листовой стали. В якоре имеются девять продольных каналов для внутренней вентиляции.

Обмотка якоря волновая, выполнена из медного шинного провода, изолированного стеклолакотканью, закреплена в пазах якоря клиньями из стеклотекстолита и пропитана кремнийорганическим лаком.

Чтобы предохранить обмотки якоря от повреждения изоляции и от замыкания на корпус в местах их выхода из пазов, крайние диски пакета якоря выполнены из стеклотекстолита.

Коллектор собран из медных пластин, изолированных друг от друга слюдой. Для охлаждения коллектора под ним имеется кольцевая полость, которая с одной стороны сообщается с осевым сверлением вала, а с другой — с каналами пакета якоря.

Крышка со стороны коллектора изготовлена из алюминиевого сплава и для обеспечения доступа к коллектору и щеткам имеет шесть окон, против которых установлены шесть щеткодержателей так называемого реактивного типа.

Устройство этих щеткодержателей позволяет использовать реакцию силы трения, действующую на щетки, благодаря чему исключается возможность «зависания» щетки в щеткодержателе.

В отличие от щеткодержателей коробчатого типа эти щеткодержатели имеют три стенки. Вместо четвертой стенки поставлен прямоугольный щеточный болт *1* (рис. 7.27), который при нормальной работе не касается щетки, а только предохраняет ее от выпадания (зазор между болтами и щеткой равен 0,45—0,75 *мм*). Щетка направлена не по радиусу коллектора, а повернута навстречу его вращению на угол α. Верхний конец щетки скашивается под углом β. Сила P_0 давления пружины *4* на щетку, направленная перпендикулярно к ее верхнему торцу, раскладывается на две составляющие: силу P_1, прижимающую верхний конец щетки к щеткодержателю, и силу P, направленную вдоль щетки.

У поверхности коллектора сила P_1, в свою очередь, также раскладывается на две составляющие. Одна составляющая P_N направлена нормально к поверхности коллектора и обеспечивает нажатие щетки на коллектор; вторая составляющая $P_к$ направлена касательно к коллектору и прижимает нижний край щетки к

передней стенке *2* щеткодержателя. Таким образом, при неработающем генераторе щетка плотно прижата к передней стенке щеткодержателя.

При работе генератора реакция силы трения $R_{тр}$, действующая на щетку со стороны коллектора, в значительной мере уменьшает давление щетки на переднюю стенку щеткодержателя. Вследствие этого трение щетки в щеткодержателе резко уменьшается и она, легко следуя за неровностями коллектора, не отрывается от него даже при высокой скорости вращения якоря и поэтому работает с меньшим искрением.

Рис. 7.27. Реактивный щеткодержатель:
1 — щеточный болт; *2* — передняя стенка щеткодержателя; *3* — стойка крепления пружины щеткодержателя; *4* — пружина щеткодержателя

Щеткодержатели положительных щеток изолированы от крышки с помощью прокладок из стеклотекстолита и втулок из стеклолакоткани и соединены между собой двумя медными шинами, расположенными на внешней стороне крышки.

Щеткодержатели отрицательных щеток крепятся непосредственно к крышке и таким образом соединены с корпусом генератора.

Схема охлаждения генератора Г-6,5 показана на рис. 7.28. В генераторе Г-6,5 осуществляется прямоточная вентиляция внутренней полости. Для этого в крышке со стороны коллектора просверлены отверстия, а кожух *24* со стороны коллектора имеет воздухозасасывающий патрубок с пылезащитной сеткой *27*.

Воздух засасывается через патрубок нагнетающим вентилятором *25*. Параллельно он протягивается вентилятором *12* и центробежным вентилятором *14* по кольцевой полости коллектора, по каналам якоря, охлаждая их, и выбрасывается наружу. Количество охлаждающего воздуха, проходящего в генераторе за единицу времени, увеличивается, охлаждающий воздух на своем пути не изменяет направления, чем достигается более интенсивное охлаждение генератора и повышение его мощности по сравнению с генератором Г-5 на 1,5 *квт*.

Реле-регулятор Р-10ТМ состоит из дифференциального минимального реле ДМР-400Т и бесконтактного регулятора напряжения. Общий вид реле-регулятора со снятой крышкой показан на рис. 7.29, а полумонтажная схема — на рис. 7.30.

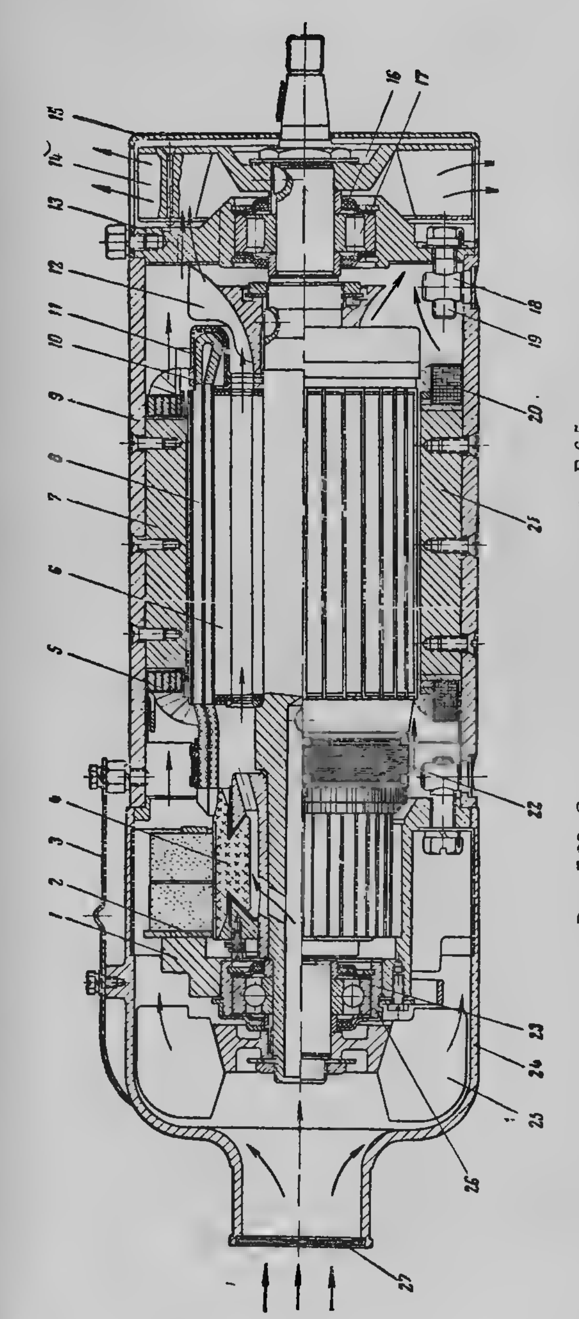


Рис. 7.28. Схема охлаждения генератора Г-6,5:
1 — крышка со стороны коллектора; *2* — щеткодержатель; *3* — теплозащитный щиток (экран); *4* — коллектор; *5* — обмотка дополнительных полюсов; *6* — сердечник якоря; *7* — дополнительный полюс; *8* — обмотка якоря; *9* — корпус; *10* — стальное кольцо; *11* — пылезащитный кожух; *12* — вентилятор-мешалка; *13* — крышка со стороны привода; *14* — центробежный вентилятор; *15* — кожух; *16* — сальник; *17* — роликовый подшипник; *18* — сухарь; *19* — болт; *20* — обмотка возбуждения; *21* — главный полюс; *22* — бандаж; *23* — шариковый подшипник; *24* — кожух со стороны коллектора; *25* — осевой вентилятор; *26* — стальная втулка; *27* — защитная сетка

Дифференциальное минимальное реле ДМР-400Т по своему принципу действия аналогично ДМР, рассмотренному ранее. Однако в электрической схеме ДМР-400Т есть некоторые дополнения. ДМР-400Т состоит из контактора K (Р6), управляющего реле Р-2, включающего реле Р-3, предохранительного реле Р-4, вспомогательного реле Р-10 и дополнительного реле Р-11. Все элементы ДМР-400Т размещены в алюминиевой коробке, которая закрывается пластмассовой крышкой. Назначение контактора управляющего, включающего и предохранительного реле такое же, как и в рассмотренной ранее схеме.

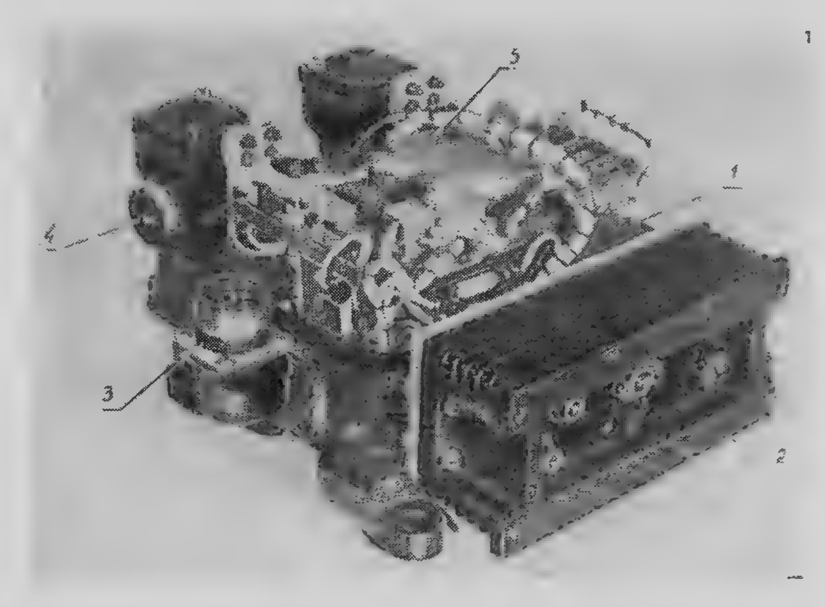


Рис. 7.29. Общий вид реле-регулятора Р-10ТМ без крышки:
1 — силовой блок; *2* — блок полупроводниковых приборов; *3* — штепсельный разъем; *4* — зажим «+Я»; *5* — дифференциальное минимальное реле

Введение в схему вспомогательного и дополнительного реле обусловлено следующим.

Для того чтобы уменьшить тепловые потери в обмотке контактора, последовательно с обмоткой контактора включено сопротивление R.

До включения контактора нормально замкнутые контакты вспомогательного реле закорачивают сопротивление R, чем достигается увеличение быстродействия срабатывания контактора.

После включения контактора срабатывает вспомогательное реле Р-10, его контакты 1 размыкаются и в цепь обмотки контактора включается сопротивление R, поэтому тепловые потери в обмотке контактора (вследствие уменьшения тока) снижаются.

Дополнительное реле Р-11 предохраняет дифференциальную обмотку управляющего реле от перегрева после срабатывания контактора. При срабатывании контактора на его замкнутых контактах создается падение напряжения, которое может достигнуть 0,5 *в*. Дифференциальная обмотка управляющего реле, включенная параллельно контактам контактора, оказывается под напряжением, равным напряжению срабатывания реле. При продолжительном времени включения дифференциальная обмотка перегре-

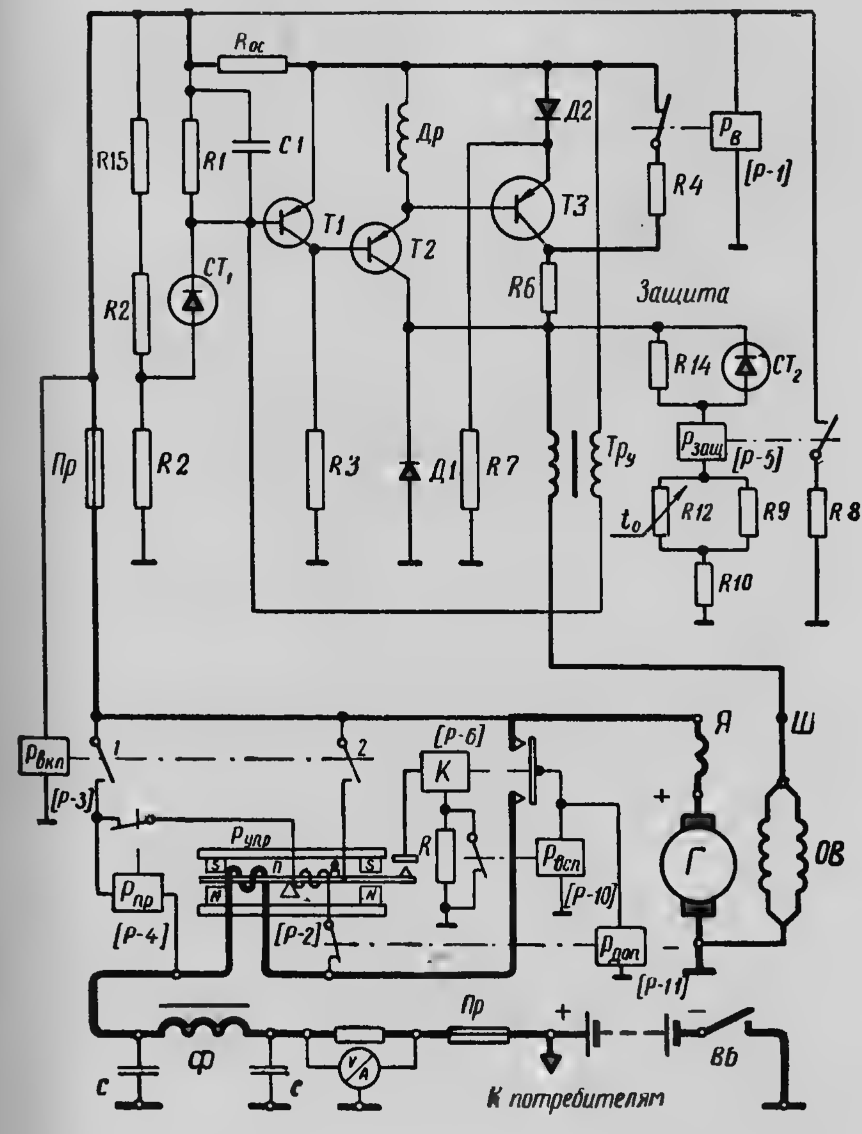


Рис. 7.30. Схема генератора Г-6,5 с реле-регулятором Р-10ТМ

вается. Однако, как только замкнутся контакты контактора, срабатывает дополнительное реле Р-11 и своими контактами разрывает цепь дифференциальной обмотки, предохраняя ее от перегрева.

В схему бесконтактного регулятора напряжения по сравнению с принципиальной схемой (рис. 7.11) внесены следующие дополнения, улучшающие работу регулятора напряжения в целом и силового транзистора в частности.

1. В измерительном устройстве применен только один стабилитрон Д810, который подключен к делителю напряжения.

Сопротивления верхнего и нижнего плеч делителя выбраны таким образом, что пробой стабилитрона происходит при номинальном напряжении генератора (примерно при 28 *в*). Настройка регулятора осуществляется заводом-изготовителем подбором сопротивления R15.

2. Регулирующее устройство выполнено по схеме составного транзистора и состоит из двух транзисторов: силового транзистора Т3 и транзистора Т2, рассчитанного на значительно меньший ток, что позволило уменьшить базовый ток транзистора Т2 и тем самым уменьшить его влияние на выходной сигнал измерительного устройства.

Если бы регулирующее устройство состояло только из одного мощного транзистора, то величина его базового тока, протекающего по сопротивлению R3, была бы велика, вследствие чего искажался бы выходной сигнал измерительного устройства. Поэтому в схему включен маломощный транзистор Т2, который управляет силовым транзистором Т3. Величина же базового тока транзистора Т2 невелика, благодаря чему уменьшается его влияние на выходной сигнал измерительного устройства.

3. Для обеспечения импульсного режима работы транзистора Т1, а следовательно, и транзисторов Т2 и Т3 (т. е. для переключения транзисторов из состояния насыщения в состояние отсечки и наоборот) введено сопротивление обратной связи по току возбуждения $R_{ОС}$, которое включено между эмиттером и базой транзистора Т1. Вследствие этого напряжение, прикладываемое к эмиттерному переходу транзистора Т1, равно разности падения напряжения на сопротивлении R1 и падения напряжения на сопротивлении $R_{ОС}$. При небольшом напряжении генератора (когда напряжение генератора меньше напряжения пробоя стабилитрона) падение напряжения на сопротивлении R1 практически равно нулю, транзистор Т1 находится в состоянии отсечки, выходной сигнал измерительного устройства велик, транзисторы Т2 и Т3 находятся в состоянии насыщения. Следовательно, ток возбуждения и напряжение генератора растут. Когда напряжение генератора несколько превысит напряжение пробоя стабилитрона, через сопротивление R1 потечет ток. Падение напряжения на сопротивлении R1 увеличится, благодаря чему транзистор Т1 начнет переключаться в состояние насыщения, а транзисторы Т2 и Т3 — в состояние отсечки.

При этом вследствие уменьшения тока эмиттера силового транзистора Т3 падение напряжения на сопротивлении $R_{ОС}$ уменьшается, что увеличивает напряжение, приложенное к эмиттерному переходу транзистора Т1, отпирает его и приводит к дальнейшему снижению тока возбуждения. В результате происходит лавинообразное изменение тока и, следовательно, почти мгновенное переключение транзистора Т1 в состояние насыщения, а транзисторов Т2 и Т3 в состояние отсечки.

При уменьшении напряжения генератора падение напряжения на сопротивлении $R_{ОС}$ начнет уменьшаться, благодаря чему транзистор Т1 начнет переключаться в состояние отсечки, а транзисторы Т2 и Т3 — в состояние насыщения.

При этом вследствие увеличения тока эмиттера силового транзистора Т3 на сопротивлении $R_{ОС}$ увеличивается падение напряжения, способствующее дальнейшему запиранию транзистора Т1 и отпиранию транзисторов Т2 и Т3. В результате происходит лавинообразное изменение тока и почти мгновенное переключение транзистора в исходное состояние: транзистор Т1 — в состоянии отсечки, а транзисторы Т2 и Т3 — в состоянии насыщения. Таким образом, благодаря введению сопротивления $R_{ОС}$ обеспечивается импульсный режим работы транзисторов Т1, Т2 и Т3.

Кроме того, наличие сопротивления $R_{ОС}$ компенсирует увеличение регулируемого напряжения при возрастании скорости вращения генератора. Это объясняется следующим. Для поддержания постоянного напряжения с увеличением скорости вращения генератора необходимо ток возбуждения уменьшать. Следовательно, с возрастанием скорости вращения величина среднего значения сопротивления транзистора Т3 должна быть увеличена, что обеспечивается увеличением времени его закрытого состояния.

При введении сопротивления $R_{ОС}$ напряжение, прикладываемое к эмиттерному переходу транзистора Т1, равно разности падения напряжения на сопротивлении R1 и падения напряжения на сопротивлении $R_{ОС}$. При малых скоростях вращения ток возбуждения имеет большую величину и создает большее падение напряжения на сопротивлении $R_{ОС}$. Следовательно, транзистор Т1 начнет отпираться при более высоком напряжении генератора, чем при отсутствии сопротивления $R_{ОС}$.

С увеличением скорости вращения ток возбуждения уменьшается, следовательно, уменьшается и падение напряжения на сопротивлении $R_{ОС}$ и транзистор Т1 начнет отпираться при меньшем напряжении генератора. Путем соответствующего подбора величины сопротивления $R_{ОС}$ можно добиться постоянства регулируемого напряжения при увеличении скорости вращения генератора.

4. Для более четкого обеспечения импульсного режима — надежного открывания и закрывания силового транзистора Т3 — в схему включен дроссель Др. Действие дросселя заключается в следующем.

При закрывании транзистора Т2 ток, проходящий через дроссель, уменьшается, и в дросселе возникает э. д. с. самоиндукции, которая приложена к транзистору Т3 в обратном (закрывающем) направлении («минус» — к эмиттеру, «плюс» — к базе).

Транзистор Т3 при этом переключается в состояние отсечки («закрыт»). При открывании транзистора Т2 ток, проходящий через дроссель, возрастает и на дросселе создается падение напряжения, которое приложено к транзистору Т3 в прямом (открывающем) направлении («плюс» — к эмиттеру, «минус» — к базе). Транзистор Т3 при этом переключается в состояние насыщения («открыт»).

5. Для обеспечения минимального сопротивления транзистора Т3 (состояния насыщения) в цепь его коллектора включено сопротивление R6. В состоянии насыщения потенциал коллектора должен быть выше потенциала базы. При отсутствии сопротивления R6 потенциал коллектора транзистора Т3 был бы меньше потенциала его базы на величину падения напряжения на транзисторе Т2. Включенное в схему сопротивление R6 компенсирует падение напряжения на транзисторе Т2.

6. Для снижения э. д. с. самоиндукции, возникающей в обмотке возбуждения генератора и приложенной к эмиттер-коллекторному переходу транзистора Т3, когда он закрыт (для устранения перенапряжения на транзисторе Т3), в схему включен диод Д1, шунтирующий обмотку возбуждения.

При закрытом состоянии транзистора Т3 в цепь обмотки возбуждения включается большое сопротивление, вследствие чего скорость спада тока возбуждения велика и в обмотке возбуждения индуктируется большая по величине э. д. с. самоиндукции $\left(e_s = -L\frac{di_в}{dt}\right)$.

Э. д. с. самоиндукции замыкается через диод Д1, включенный параллельно обмотке возбуждения, вследствие чего скорость спада тока возбуждения уменьшается, следовательно, уменьшается э. д. с. самоиндукции и перенапряжение на транзисторе Т3 устраняется. Контур э. д. с. самоиндукции: обмотка возбуждения, «минус» (корпус), диод Д1 в прямом направлении, обмотка трансформатора $Тр_у$, зажим «Ш».

Однако применение диода, шунтирующего обмотку возбуждения, вызывает снижение частоты переключения транзистора Т3, что увеличивает амплитуду пульсаций напряжения.

7. Для увеличения частоты переключения транзистора Т3 из состояния «открыт» в состояние «закрыт» (и наоборот) применен ускоряющий трансформатор обратной связи $Тр_у$. Первичная обмотка этого трансформатора включена последовательно в цепь обмотки возбуждения, а вторичная — на участок эмиттер — база транзистора Т1.

При уменьшении тока возбуждения (когда транзистор Т3 закрыт) во вторичной обмотке трансформатора индуктируется э. д. с., которая приложена к транзистору Т1 в обратном направлении («плюс» — к базе, «минус» — к эмиттеру). Благодаря этому транзистор Т1 быстрее закрывается, а транзистор Т3 быстрее открывается.

При увеличении тока возбуждения (когда транзистор Т3 открыт) во вторичной обмотке трансформатора индуктируется э. д. с., которая приложена к транзистору Т1 в прямом направлении («плюс» — к эмиттеру, «минус» — к базе). Благодаря этому транзистор Т1 быстрее открывается, а транзистор Т3 быстрее закрывается.

8. Транзисторный регулятор при наличии ускоряющего трансформатора обладает высокой чувствительностью, и переключение транзисторов может происходить даже под действием коллекторных пульсаций с очень высокой частотой. Это может привести к перегреву и выходу из строя силового транзистора.

Для уменьшения частоты переключения параллельно эмиттерному переходу транзистора Т1 включается сглаживающая емкость *С1*.

9. Для улучшения условий самовозбуждения генератора применено реле возбуждения Р-1. Обмотка этого реле включена на полное напряжение генератора, а нормально замкнутые контакты включены в цепь обмотки возбуждения и шунтируют диод *Д2* и силовой транзистор Т3. Реле Р-1 срабатывает и размыкает свои контакты при напряжении генератора 18 *в*.

10. В случае короткого замыкания силового транзистора напряжение генератора не будет регулироваться, вследствие чего могут выйти из строя потребители, а зарядный ток батарей может резко возрасти.

Для защиты потребителей и аккумуляторных батарей от высокого напряжения применена схема защиты, состоящая из реле защиты Р-5 (рис. 7.30), предохранителя Пр и сопротивления R8.

Реле защиты срабатывает при напряжении 29,5—32,5 *в*. Стабилизация напряжения срабатывания реле защиты обеспечивается включением в цепь обмотки реле защиты стабилитрона $Ст_2$, шунтированного сопротивлением R14. Напряжение срабатывания реле защиты не должно зависеть от температуры окружающей среды. Для этого в цепь его обмотки включена термокомпенсационная цепочка, состоящая из термистора R12 и сопротивления R9. Термистор R12 обладает отрицательным температурным коэффициентом: при повышении температуры сопротивление его уменьшается. Подбором величины сопротивления R10 осуществляется настройка схемы на заданное напряжение срабатывания.

Схема защиты работает следующим образом.

Пока напряжение генератора ниже напряжения срабатывания схемы защиты, через сопротивление R14, обмотку реле защиты и сопротивления R9, R12, R10 проходит ток.

При этом напряжение на обмотке реле защиты ниже напряжения срабатывания. В случае короткого замыкания между эмиттером и коллектором силового транзистора Т3 напряжение генератора начинает расти и при значении 29,5—32,5 *в* пробивается ста-

билитрон $Ст_2$. Сопротивление стабилитрона резко уменьшается, что приводит к резкому возрастанию напряжения на обмотке реле защиты. Последнее срабатывает и своими контактами замыкает цепь предохранителя Пр через сопротивление R8 на «минус» генератора. Предохранитель сгорает и отключает обмотку возбуждения генератора. Напряжение генератора резко уменьшается, и он отключается от бортовой сети.

Работа бесконтактного регулятора напряжения. При малой скорости вращения якоря, когда напряжение генератора невелико (меньше 18 *в*), контакты реле возбуждения замкнуты и ток в обмотку возбуждения идет по следующей цепи: +*Я* генератора, сопротивление $R_{ОС}$, замкнутые контакты реле возбуждения, сопротивления R4 и R6, обмотка трансформатора $Тр_у$, зажим +Ш, обмотка возбуждения, «масса». Одновременно напряжение генератора прикладывается к обмотке реле Р-1. Ток возбуждения и напряжение генератора по мере увеличения скорости вращения якоря растут.

Когда напряжение генератора достигнет 18 *в*, срабатывает реле возбуждения и размыкает свои контакты, при этом в цепь обмотки возбуждения включаются диод *Д2* и транзистор Т3.

Если напряжение генератора меньше напряжения пробоя стабилитрона Ст (меньше 28 *в*), то ток через стабилитрон не течет. В этом случае транзистор Т1 закрыт, так как потенциал его эмиттера равен потенциалу базы, и сопротивление его составляет сотни тысяч ом. На транзисторе Т1 падение напряжения будет больше приложенного к транзистору Т2 в прямом направлении («плюс» — к эмиттеру, «минус» — к базе). Следовательно, транзистор Т2 открыт, и ток, протекающий через дроссель Др, возрастает, создавая падение напряжения на дросселе, которое приложено к транзистору Т3 в прямом направлении. Следовательно, и транзистор Т3 тоже открыт, и сопротивление его эмиттер-коллекторного перехода составляет сотые доли ома.

Вследствие этого ток возбуждения и напряжение генератора продолжают расти.

Когда напряжение генератора станет равно напряжению пробоя стабилитрона ($U_г$=28 *в*), проводимость стабилитрона резко возрастет и через стабилитрон потечет ток, который вызовет падение напряжения на сопротивлении R1. Это напряжение прикладывается к транзистору Т1 в прямом направлении, благодаря чему последний переключается в состояние насыщения («открыт»). Сопротивление его при этом резко уменьшается (до сотых долей ома), а следовательно, и падение напряжения на нем резко уменьшается и становится меньше падения напряжения на дросселе Др. Вследствие этого транзистор Т2 закрывается, так как потенциал его эмиттера становится меньше потенциала базы.

При закрывании транзистора Т2 ток, протекающий через дроссель, уменьшается и в дросселе возникает э. д. с. самоиндукции, которая прикладывается к транзистору Т3 в обратном направлении. Вследствие этого транзистор Т3 закрывается[1], и в цепь обмотки возбуждения включается большое сопротивление, которое вызывает появление в ней большей по величине э. д. с. самоиндукции, что может вызывать перенапряжение в транзисторе Т3. Для уменьшения э. д. с. самоиндукции обмотка возбуждения шунтируется диодом Д1, в результате чего снижается скорость спада тока возбуждения и, следовательно, снижается э. д. с. самоиндукции. Этим устраняется перенапряжение в транзисторе Т3.

Когда напряжение генератора станет меньше напряжения пробоя стабилитронов, транзистор Т1 вновь закроется, а транзисторы Т2 и Т3 вновь откроются, и весь процесс повторится.

Для увеличения частоты переключения транзисторов используется ускоряющий трансформатор $Тр_у$. При уменьшении тока возбуждения уменьшается ток, протекающий по первичной обмотке ускоряющего трансформатора. При этом во вторичной обмотке индуктируется э. д. с., которая приложена к транзистору Т1 в обратном направлении. Следовательно, транзистор Т1 быстрее закрывается, а транзисторы Т2 и Т3 быстрее открываются.

Таким образом, силовой транзистор Т3 автоматически переключается из состояния «открыт» в состояние «закрыт», среднее значение тока возбуждения с увеличением скорости вращения уменьшается и напряжение генератора сохраняется неизменным.

Генератор ВГ-7500 с регулятором напряжения Р-27 и ДМР-400Т

Генератор ВГ-7500 мощностью 4000 *вт* и напряжением 28 *в* представляет собой шестиполюсную машину постоянного тока смешанного возбуждения. Генератор ВГ-7500 работает совместно с угольным регулятором напряжения Р-27 и автоматом обратного тока ДМР-400Т.

Полумонтажная электрическая схема генератора ВГ-7500 с регулятором напряжения Р-27 и ДМР-400Т показана на рис. 7.31.

Назначение, устройство и работа дифференциального минимального реле ДМР-400Т были рассмотрены ранее.

Угольный регулятор напряжения выполнен в виде отдельного узла. В комплект регулятора напряжения входит также стабилизирующий трансформатор. Принципиальная схема угольного регулятора напряжения показана в верхней части рис. 7.31.

Угольный столб установлен в алюминиевом кожухе с охлаждающими ребрами. Столб упирается своим левым концом в регулировочный винт *РВ*. К правому торцу столба прижат пружиной якорь электромагнита.

Снаружи регулятора крепится регулировочный реостат $R_р$, который служит для регулирования напряжения, поддерживаемого регулятором в процессе эксплуатации.

[1] Полное закрывание транзистора Т3 обеспечивается также падением напряжения на диоде Д2, в результате чего потенциал эмиттера транзистора Т3 становится меньше потенциала его базы.

Осевое перемещение якоря электромагнита обеспечивается пружиной.

При сборке регулятора вращением регулировочного винта *РВ* создается предварительное натяжение пружины, определяющее сжатие столба, а следовательно, и его минимальное сопротивле-

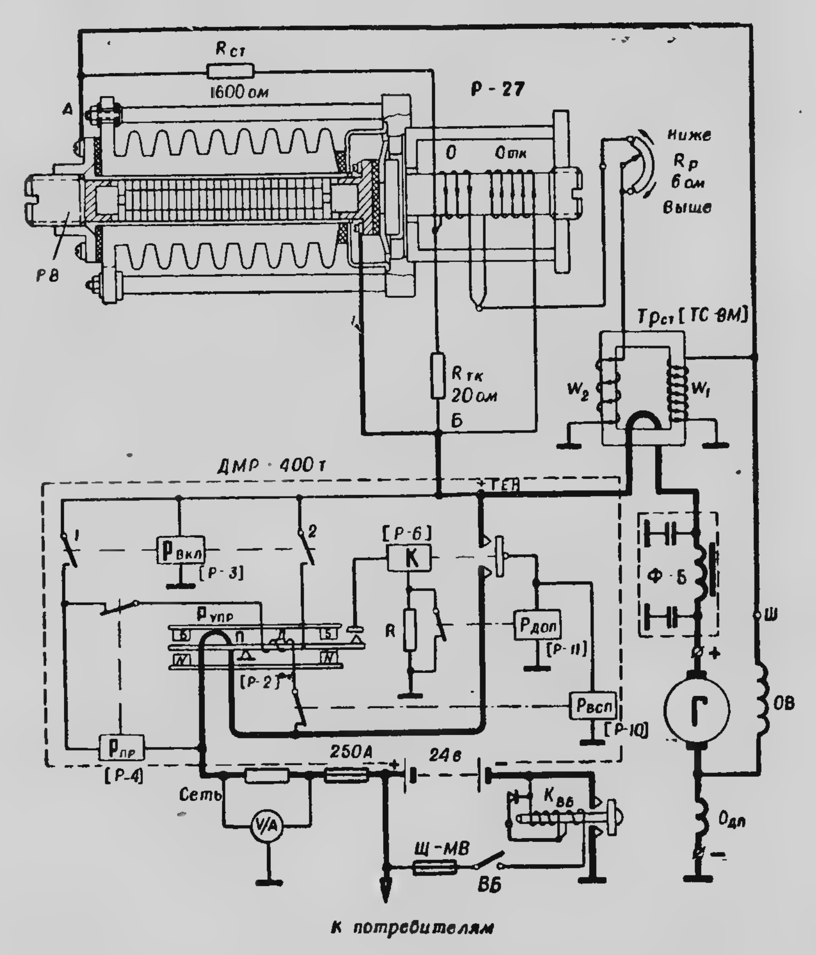


Рис. 7.31. Схема генератора ВГ-7500 с регулятором напряжения Р-27 и ДМР-400Т

ние; вращением же сердечника электромагнита устанавливается необходимый зазор между ним и якорем электромагнита.

Изменением величины этого зазора, а также силы натяжения пружины осуществляется заводская регулировка напряжения, поддерживаемого регулятором. При работе генератора в обмотку возбуждения *ОВ* ток проходит через угольный столб *УС*; одновременно ток проходит в основную обмотку *О* регулятора.

При изменении скорости вращения якоря генератора или его

нагрузки напряжение генератора изменяется. При этом изменяется магнитодвижущая сила электромагнита, нарушается равновесие сил, действующих на столб, что сопровождается осевым перемещением якоря, изменением сопротивления угольного столба, тока возбуждения и напряжения генератора. При этом якорь будет перемещаться до тех пор, пока система не придет снова в равновесие.

Для уменьшения времени и амплитуды колебаний (уменьшения колебательности переходных процессов) регулятор напряжения снабжен стабилизирующим сопротивлением и стабилизирующим трансформатором, повышающими качество его работы.

Влияние стабилизирующего сопротивления $R_{ст}$ и стабилизирующего трансформатора Тр были рассмотрены выше.

Термокомпенсирующие элементы (сопротивление температурной компенсации $R_{тк}$ и термокомпенсационная обмотка $О_{тк}$) имеют своей целью уменьшить влияние нагрева элементов регулятора на поддерживаемое им напряжение. Их действие аналогично действию соответствующих элементов в реле-регуляторе Р-5М (рис. 7.25).

Следует отметить, что регулятор этого типа нуждается в настройке в процессе эксплуатации, так как точность регулирования его напряжения, соответствующая техническим условиям, ниже (3,5 *в*), чем в регуляторах других типов, и работа в процессе эксплуатации менее стабильна.

Генератор Г-290 и реле-регулятор РР-361А

Генератор Г-290 представляет собой трехфазную синхронную машину переменного тока со встроенным выпрямителем[1]. Работает он с реле-регулятором РР-361А, обеспечивающим параллельную работу генератора с аккумуляторными батареями. Общий вид реле-регулятора РР-361А показан на рис. 7.32, а электрическая схема генератора Г-290 с реле-регулятором РР-361А — на рис. 7.33.

Основными элементами реле-регулятора являются:
— контактно-транзисторный регулятор напряжения;
— контактно-транзисторный ограничитель тока;
— элементы управления стартером.

Реле-регулятор РР-361А не имеет автомата обратного тока, так как генератор защищен от обратных токов диодами встроенного выпрямителя.

Контактно-транзисторный регулятор напряжения состоит из измерительного устройства, основным элементом которого является электромагнитное реле *РН*, и регулирующего устройства, функции которого выполняет силовой транзистор *Т*, включенный в цепь обмотки возбуждения генератора.

Работает регулятор напряжения следующим образом. При

[1] Генераторы переменного тока со встроенным выпрямителем в литературе часто называют вентильными генераторами.

включении выключателя зажигания напряжение подается на реле включения *РВ*, контакты которого замыкаются и подключают обмотку возбуждения генератора к аккумуляторным батареям. Силовой транзистор *Т* в это время находится в открытом состоянии, так как потенциал его эмиттера больше потенциала базы, благодаря чему осуществляется быстрый процесс возбуждения генератора. Как только напряжение генератора достигнет регулируемой величины, сработает реле напряжения *РН* и своими замкнувшимися

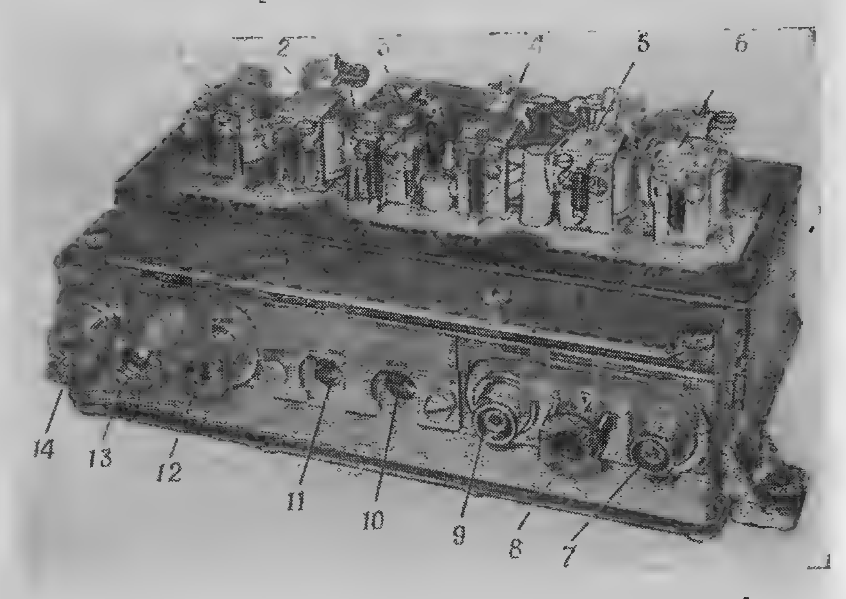


Рис. 7.32. Общий вид реле-регулятора РР-361А со снятой крышкой:

1 — реле включения РВ; *2* — реле стартера РС; *3* — реле защиты РЗ; *4* — реле ограничителя тока ОТ; *5* — реле регулятора напряжения РН; *6* — реле блокировки РБ; *7* — клемма «РД»; *8* — клемма «Л2»; *9* — клемма «Ш»; *10* — клемма «+Я»; *11* — клемма «+Б»; *12* — клемма «РС»; *13* — клемма «КС»; *14* — клемма «Л1»

контактами зашунтирует эмиттерный переход транзистора *Т*. Транзистор закроется (так как потенциал его базы станет больше потенциала эмиттера), вследствие чего уменьшится ток возбуждения, а следовательно, и напряжение генератора. Это приведет к отпусканию реле напряжения и размыканию его контактов, чем вновь обеспечится переключение транзистора в состояние насыщения, и процесс повторится.

К о н т а к т н о - т р а н з и с т о р н ы й   о г р а н и ч и т е л ь   т о к а обеспечивает ограничение тока генератора Г-290 путем снижения его напряжения.

Измерительным элементом ограничителя тока является электромагнитное реле с последовательной обмоткой *ОТ* и ускоряющей обмоткой $O_{уот}$. Магнитодвижущая сила обеих обмоток действует согласно. Функции регулирующего элемента выполняет тот же транзистор *Т*, который используется и в регуляторе напряжения.

Работает ограничитель тока следующим образом. Когда ток генератора превысит допустимое значение (150 *а*), под действием магнитодвижущей силы последовательной обмотки *ОТ* замыкаются контакты, вследствие чего транзистор *Т* переходит в состояние отсечки. При этом напряжение генератора снижается, чем достигается ограничение тока. Запирание транзистора приводит к резкому уменьшению магнитодвижущей силы ускоряющей обмотки, а следовательно, и суммарной МДС, что обеспечивает быстрое

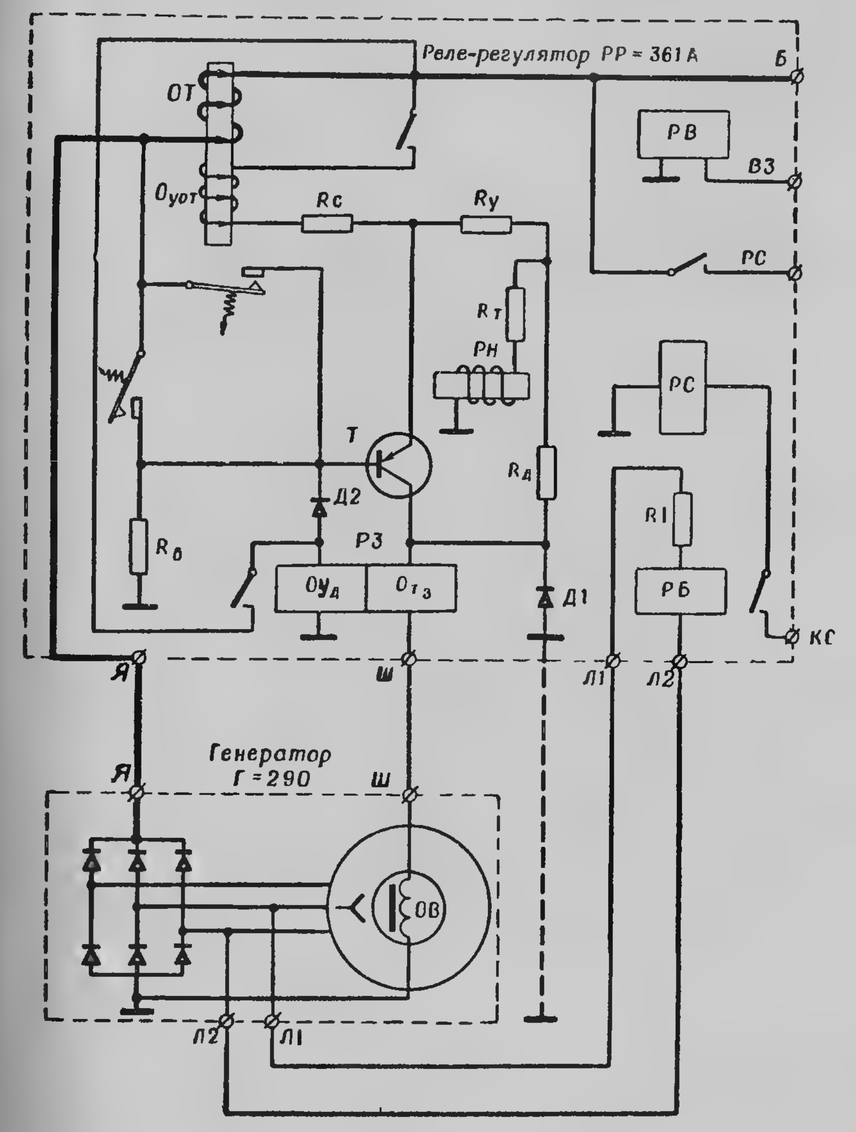


Рис. 7.33. Схема генератора Г-290 с реле-регулятором РР-361А

размыкание контактов *ОТ*. После размыкания контактов транзистор вновь переключается в состояние насыщения, вследствие чего снова возрастает МДС ускоряющей обмотки, и контакты вновь быстро замыкаются и весь процесс повторяется. Так как при работе *ОТ* напряжение генератора ниже номинального, то контакты *РН* разомкнуты.

Кроме перечисленных элементов в схеме реле-регулятора РР-361А имеется реле защиты *РЗ* транзистора от коротких замыканий цепи возбуждения. Реле защиты имеет две обмотки: последовательную (токовую) $O_{тз}$, включенную в цепь обмотки возбуждения, и параллельную (удерживающую) $O_{уд}$, служащую для самоблокировки реле.

Нормально разомкнутые контакты *РЗ* включены между плюсовым зажимом батарей и базой транзистора; диоды Д2 предотвращают срабатывание *РЗ* в номинальном режиме.

Защита транзистора *Т* осуществляется следующим образом. При коротком замыкании клеммы *Ш* на «массу» транзистор *Т* открывается (переходит в линейный режим), и его ток резко возрастает. При этом резко возрастает также ток последовательно обмотки *ОТ* реле защиты, что приводит к замыканию его контактов. При замыкании контактов реле защиты потенциал базы транзистора *Т* становится больше потенциала его эмиттера, вследствие чего транзистор переходит в состояние отсечки и тем самым предохраняется от перегрева. Однако реле защиты остается во включенном состоянии (и контакты его замкнуты) за счет действия удерживающей обмотки $O_{уд}$.

Для выключения реле защиты необходимо отключить от бортовой сети аккумуляторные батареи.

К элементам управления стартером относятся реле стартера *РС* и реле блокировки *РБ*.

Реле стартера служит для включения стартера при нажатии на кнопку стартера; реле блокировки обеспечивает автоматическое отключение стартера после пуска двигателя, если кнопка стартера при этом не отпущена. Нормально разомкнутые контакты *РС* включены в цепь питания обмотки реле привода стартера.

При нажатии на кнопку стартера подается питание на реле стартера *РС*, его контакты замыкаются, чем обеспечивается включение стартера и пуск двигателя. При скорости вращения двигателя $n_{дв} \approx 250 \div 350$ *об/мин* напряжение генератора становится равным напряжению срабатывания реле блокировки *РБ*, контакты которого размыкаются и разрывают цепь обмотки *РС*, вследствие чего стартер отключается.

Глава 8

СТАРТЕРНЫЕ АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ

§ 8.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Аккумуляторные батареи предназначены для питания потребителей электрической энергией:

— при неработающем двигателе (стартер, освещение и т. д.);

— при работе двигателя на малых оборотах, когда генератор еще не подключен к бортовой сети;

— для питания мощных потребителей совместно с генератором, когда потребляемый ими ток превосходит допустимую для генератора величину.

Танковые аккумуляторные батареи состоят из шести или двенадцати свинцовых кислотных аккумуляторов, соединенных между собой последовательно, заключенных в деревянный ящик, крышки батареи и защитной коробки выводных зажимов.

Автомобильные аккумуляторные батареи состоят из шести или трех последовательно соединенных кислотных аккумуляторов, размещенных в баке из эбонита или пластмассы.

Аккумулятор представляет собой обратимый электрохимический источник тока, состоящий из двух электродов, погруженных в электролит. Он обладает способностью за счет происходящих в нем под действием электрического тока электрохимических процессов накапливать электрическую энергию и при необходимости отдавать ее во внешнюю цепь.

Процесс накапливания энергии аккумулятором называется з а р я д о м, а процесс ее отдачи — р а з р я д о м.

Химические процессы, происходящие в аккумуляторе, являются обратимыми: вещества электродов и электролита в результате цикла заряд — разряд после заряда имеют тот же состав, который они имели в начале цикла. Это свойство аккумулятора (обратимость) позволяет производить циклы заряд — разряд многократно без замены электродов или электролита.

Работа аккумуляторов основана на явлении поляризации электродов при электролизе: создании разности потенциалов между электродами аккумулятора при пропускании через него постоянного тока (при заряде).

Практическое применение имеют аккумуляторы следующих типов:

— кислотный свинцовый аккумулятор (свинец и перекись свинца в водном растворе серной кислоты);

— щелочной кадмиево-никелевый аккумулятор (кадмий и гидрат окиси никеля в водном растворе едкой щелочи);

— щелочной железо-никелевый аккумулятор (железо и гидрат окиси никеля в растворе едкой щелочи).

В системах электрооборудования танков и автомобилей применяются исключительно кислотные свинцовые аккумуляторы, так как они по сравнению со щелочными имеют малое внутреннее сопротивление. Вследствие этого при большом токе нагрузки падение напряжения внутри аккумулятора этого типа мало и снижение напряжения на зажимах потребителя незначительно. Эти свойства кислотных батарей обеспечивают возможность нормальной работы стартера, который при пуске двигателя потребляет большой ток и развивает необходимую мощность только в том случае, если напряжение на зажимах аккумуляторов при этом не снижается чрезмерно. Кроме того, кислотные аккумуляторы отличаются от щелочных более высокой э. д. с. (при меньших габаритах).

Основные технические данные танковых аккумуляторных батарей приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Основные технические данные танковых аккумуляторных батарей

Технический параметр	Тип батареи	
	6-СТЭН-140М и 6-МСТ-140	12-СТ-70
Номинальное напряжение, *в*	12	24
Емкость при 20-часовом разрядном режиме, *а·ч*	140	—
Емкость при 10-часовом разрядном режиме, *а·ч*	126	70
Число пластин в одном аккумуляторе: $\frac{\text{положит.}}{\text{отрицат.}}$, шт.	$\frac{9}{10}$	$\frac{7}{8}$
Толщина пластин: $\frac{\text{положит.}}{\text{отрицат.}}$, *мм*	$\frac{3{,}6}{2{,}8}$	$\frac{2{,}0}{2{,}0}$
Поверхность пластин батареи: $\frac{\text{положит.}}{\text{отрицат.}}$, *см²*	$\frac{3215}{3570}$	$\frac{2660}{3040}$
Габариты батареи: длина, ширина, высота, *мм*	582×236×236	
Масса батареи: $\frac{\text{с электролитом}}{\text{без электролита}}$, *кг*	$\frac{64}{53{,}5}$	$\frac{65{,}5}{56}$
Ток первого подзаряда, *а*	12	8
Ток последующих зарядов: $\frac{\text{на I ступени}}{\text{на II ступени}}$, *а*	10	$\frac{8}{4}$
Разрядный ток при КТЦ, *а*	12,6	7

§ 8.2. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ КИСЛОТНОГО АККУМУЛЯТОРА

Простейший кислотный аккумулятор состоит из двух свинцовых пластин, погруженных в электролит — водный раствор серной кислоты. В результате взаимодействия серной кислоты и окислов свинца на обеих пластинах образуется сернокислый свинец $PbSO_4$ (сульфат свинца). Так как состав этих пластин одинаков, то разность потенциалов между ними равна нулю.

Если пластины этого аккумулятора подсоединить к источнику постоянного тока, то на пластине, соединенной с положительным зажимом источника тока, образуется перекись свинца PbO_2, имеющая коричневый цвет, а на пластине, соединенной с отрицательным зажимом источника, — губчатый свинец Pb, имеющий серый цвет.

При заряде аккумулятора удельный вес электролита[1] возрастает, так как часть воды электролита замещается серной кислотой.

Если теперь к зажимам заряженного аккумулятора подключить какой-нибудь потребитель, то аккумулятор будет разряжаться. В этом случае ток и направление химического процесса в аккумуляторе станут протекать в обратном порядке.

При разряде аккумулятора на обеих пластинах снова образуется сернокислый свинец ($PbSO_4$).

При разряде аккумулятора удельный вес электролита уменьшается, так как часть серной кислоты электролита замещается водой.

Результаты реакций, происходящих при заряде и разряде кислотного аккумулятора, приведены в табл. 8.2. Направление процесса на этой таблице показано стрелками.

Таблица 8.2

Состояние аккумулятора	Положительная пластина	Электролит	Отрицательная пластина
Полностью заряжен	PbO_2 (перекись свинца)	$2H_2SO_4$ (серная кислота)	Pb (губчатый свинец)
	↓ ↑	↓ ↑	↓ ↑
Полностью разряжен	$PbSO_4$ (сернокислый свинец)	$2H_2O$ (вода)	$PbSO_4$ (сернокислый свинец)

Изменение удельного веса электролита при разряде и заряде аккумулятора является одним из основных и практически удобных показателей его состояния: снижение удельного веса электролита

[1] Наряду с термином «удельный вес электролита» в практике часто пользуются термином «плотность электролита», пренебрегая при этом незначительным числовым различием между ними.

при разряде является показателем степени разряда аккумулятора, а повышение плотности электролита до величины, соответствующей полностью заряженному аккумулятору,— основным признаком окончания заряда.

§ 8.3. РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС КИСЛОТНОГО АККУМУЛЯТОРА

(характеристики разряда и заряда)

Рабочие процессы, происходящие в кислотном аккумуляторе при его заряде и разряде, сопровождаются количественными изменениями ряда физических величин, характеризующих его состояние и свойства.

Такими физическими величинами являются:

— электродвижущая сила (э. д. с.) аккумулятора — разность потенциалов между его разноименными пластинами при разомкнутой внешней цепи;

— напряжение аккумулятора — разность потенциалов между разноименными пластинами аккумулятора при замкнутой внешней цепи;

— плотность электролита, находящегося в аккумуляторе.

Для пояснения этих изменений приведем зависимости э. д. с. аккумулятора, его напряжения и плотности электролита от времени разряда и заряда аккумулятора током постоянной величины E, U и $\gamma=f(t)$ при $I=\text{const}$.

Эти зависимости принято называть характеристиками аккумулятора.

Зависимость э. д. с., напряжения и плотности электролита от времени разряда аккумулятора током неизменной величины $E_а$, $U_р$ и $\gamma=f(t)$ при $I_р=\text{const}$ (характеристика разряда) приведена на рис. 8.1.

Для получения этой характеристики полностью заряженный аккумулятор разряжают током $I_р$ неизменной величины (в нашем примере $I_р=7$ *а*), измеряя при этом напряжение на зажимах аккумулятора ($U_р$) и плотность электролита (γ).

Полученные таким путем зависимости позволяют установить следующее.

При разомкнутой цепи э. д. с. аккумулятора $E_а$ равна э. д. с. покоя $E_{а_0}$ и при полностью заряженном аккумуляторе составляет 2,12 *в*. При замыкании цепи напряжение на зажимах аккумулятора $U_р$ резко снижается на величину падения напряжения, равную $I_рR_а$ ($U_р=E_а-I_рR_а$). Это падение напряжения зависит от величины разрядного тока ($I_р$) и внутреннего сопротивления аккумулятора ($R_а$).

Э. д. с. разряжаемого аккумулятора $E_а$ ниже э. д. с. покоя $E_{а_0}$ на величину ΔE вследствие того, что удельный вес электролита в порах пластин из-за малой скорости диффузии меньше, чем удельный вес электролита, находящегося у их поверхности. Благодаря

этой разности в удельном весе электролита, находящегося в порах пластин и в сосуде, происходит проникновение (диффузия) электролита из сосуда внутрь пластин.

Э. д. с. аккумулятора $E_а$ и его напряжение $U_р$ будут снижаться до установления равновесия между количеством серной кислоты, расходуемой в порах пластин при разряде, и количеством серной кислоты, проникающей в поры пластин за счет диффузии. При установившемся равновесии уменьшение э. д. с. ΔE сохраняется постоянным, вследствие этого в течение большей части времени

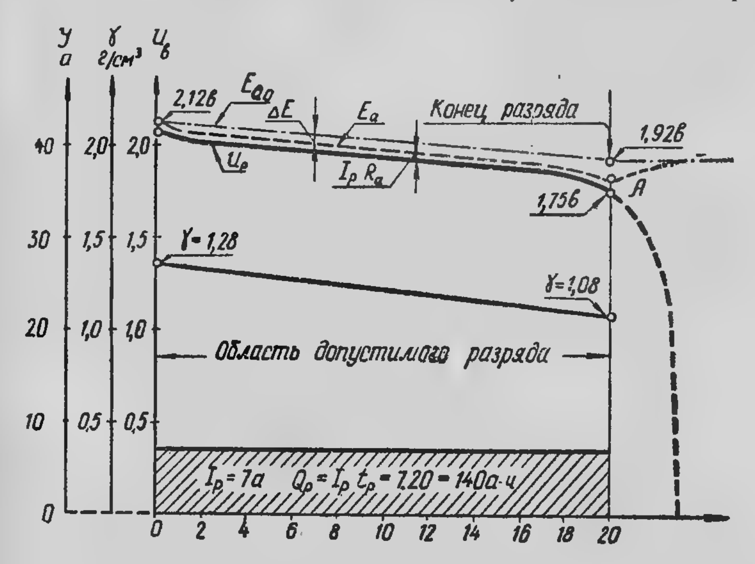


Рис. 8.1. Зависимость э. д. с., напряжения и плотности электролита от времени разряда аккумулятора током постоянной величины (характеристика разряда)

разряда напряжение аккумулятора $U_р$ и его э. д. с. $E_а$ будут снижаться линейно на незначительную величину. Сернокислый свинец, откладывающийся в порах пластин при разряде аккумулятора, сужает поры, и поэтому диффузия электролита замедляется.

В конце разряда (точка *A* на рис. 8.1) замедление диффузии настолько возрастает, что э. д. с. аккумулятора и его напряжение $U_р$ начинают резко снижаться, стремясь к нулю.

Напряжение аккумулятора в точке *A* (конечное напряжение разряда) при 20-часовом разрядном режиме равно 1,75 *в*.

Удельный вес электролита γ в области допустимого разряда аккумулятора изменяется прямолинейно начальному значению 1,28 [1] до конечного значения, равного 1,08.

[1] В рассматриваемых характеристиках удельный вес электролита полностью заряженного аккумулятора принят равным 1,28, что примерно соответствует плотности электролита, при которой проверяется гарантируемая заводом емкость.

Прямолинейное снижение плотности электролита по мере разряда аккумулятора объясняется тем, что при постоянной величине разрядного тока в единицу времени в реакции участвует неизменяющееся количество активной массы пластин и серной кислоты, замещаемой водой.

Конечная плотность электролита (в нашем примере 1,08) зависит от количества электролита, приходящегося на единицу активной массы, т. е. от конструкции аккумулятора (чем больше объем электролита в сосуде, тем меньше снижение его плотности при разряде).

В танковых стартерных батареях различного типа конечная плотность электролита колеблется в пределах 1,08—1,14.

Зная предельные значения изменения плотности электролита, можно с достаточной для практики точностью установить степень разряда аккумулятора по измеренной плотности электролита.

Можно считать, что снижение плотности электролита на 0,01 соответствует разряду танковой батареи 6-СТЭН-140М или 6-МСТ-140 на 5—6%.

Если разряд прекратить, то напряжение аккумулятора сравнительно быстро возрастет до величины э. д. с. $E_а$, а затем по мере выравнивания плотности электролита в порах и в сосуде будет медленно возрастать до э. д. с. покоя $E_{а0}$. На участке медленного возрастания э. д. с. происходит «отдых» аккумулятора.

Конец разряда аккумулятора характеризуется следующими признаками:

— понижением напряжения аккумулятора до допустимого предельного значения ($U_р=1{,}75$ *в* при разряде током 20-часового режима);

— понижением плотности электролита до определенной минимальной величины ($\gamma=1{,}08$).

Количество электричества $Q_р$, которое отдал аккумулятор, разряжаемый в нашем примере током $I_р$, равным 7 *а*, до допустимого предела в течение 20 *ч*, характеризует емкость аккумулятора, которая показана на рис. 8.1 заштрихованным прямоугольником.

Емкость аккумулятора равна произведению разрядного тока $I_р$ на время разряда $t_р$, выражается она в ампер-часах ($а \cdot ч$) и для рассматриваемого аккумулятора при 20-часовом режиме его разряда составляет 140 $а \cdot ч$.

Зависимость э. д. с., напряжения и плотности электролита от времени заряда аккумулятора током неизменной величины $E_а$, $U_з$ и $\gamma=f(t)$ при $I_з=10$ *а* (характеристика заряда) приведена на рис. 8.2.

Для получения этой зависимости полностью разряженный аккумулятор заряжают током $I_з$ постоянной величины (в нашем примере $I_з=10$ *а*), замеряя при этом напряжение на зажимах аккумулятора ($U_з$) и плотность электролита (γ).

Полученные при этом зависимости по сравнению с характеристиками разряда (рис. 8.1) имеют обратный характер и позволяют установить следующее.

Плотность электролита γ при заряде изменяется прямолинейно в порядке, обратном разряду, и возрастает к концу заряда до первоначальной величины (в нашем примере $\gamma=1{,}28$). При заряде в порах пластин образуется серная кислота, вследствие чего плотность электролита в порах пластин выше, чем в сосуде. Поэтому э. д. с. заряжаемого аккумулятора $E_а$ выше э. д. с. покоя $E_{а_0}$ на величину ΔE, а напряжение на его зажимах $U_з$ становится выше э. д. с. на величину $I_зR_а$ ($U_з=E_а+I_зR_а$). К концу заряда (см. точку *B* на рис. 8.2) э. д. с. и напряжение аккумулятора значительно возрастают.

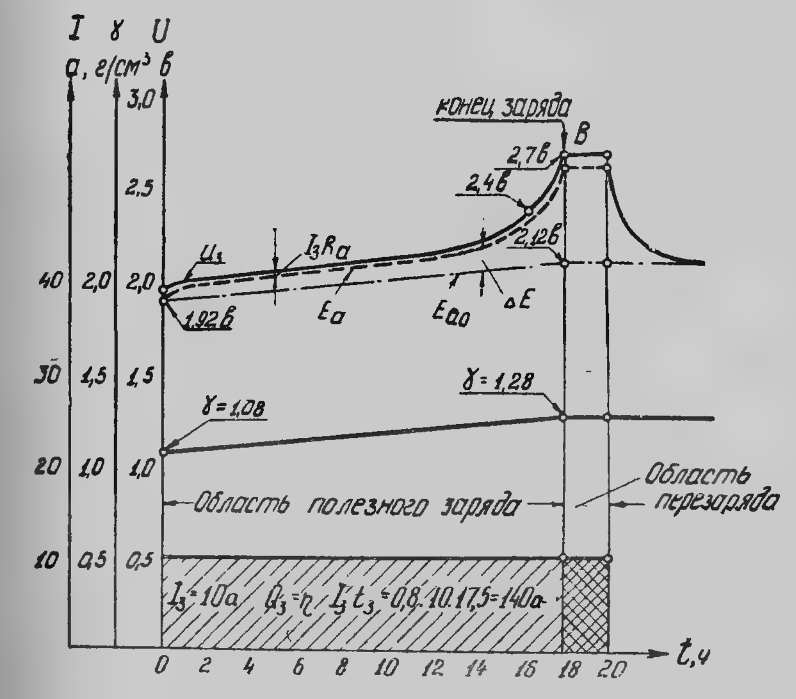


Рис. 8.2. Зависимость э. д. с., напряжения и плотности электролита от времени заряда аккумулятора током постоянной величины (характеристика заряда)

Когда напряжение заряжаемого аккумулятора достигнет 2,4 *в*, начинается процесс газообразования — разложение воды электролита на водород и кислород. Этот процесс называют «кипением».

При дальнейшем заряде напряжение аккумулятора быстро возрастает до предельной величины 2,7 *в* (точка *B*), а плотность электролита — до максимального значения. Эта точка характеризует конец заряда аккумулятора (переход активной массы пластин в заряженное состояние).

При дальнейшем пропускании зарядного тока через аккумулятор — «перезаряде» — напряжение аккумулятора и плотность элек-

тролита сохраняют свою величину неизменной, а зарядный ток вызывает только электролиз воды электролита.

Однако перезаряд продолжают в течение 2 *ч*, с тем чтобы убедиться в полном заряде аккумулятора.

Признаками конца заряда являются:

— постоянство напряжения аккумулятора в течение 2 *ч*;

— постоянство плотности электролита в течение 2 *ч*;

— интенсивное газовыделение («кипение») электролита.

Следует иметь в виду, что чрезмерный перезаряд вызывает не только непроизводительный расход энергии, но также усиливает коррозию положительных пластин, оползание активной массы вследствие бурного газовыделения, в результате чего срок службы аккумулятора резко снижается.

При отключении аккумулятора напряжение на его зажимах станет равным величине э. д. с., которая затем во время «отдыха» медленно снижается до э. д. с. покоя (2,12 *в*).

Для заряда аккумулятора требуется количество электричества $Q_з$, превышающее его разрядную емкость $Q_р$, ввиду дополнительных потерь на электролиз воды электролита и нагрев:

$$\frac{Q_р}{Q_з} = 0,85 \div 0,90.$$

Это соотношение характеризует отдачу аккумулятора по емкости.

§ 8.4. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КИСЛОТНОГО АККУМУЛЯТОРА

Электродвижущая сила (э. д. с.) аккумулятора, находящегося в покое, $E_{а0}$, когда плотность электролита в порах пластин и сосуде одинакова, зависит от физических и химических свойств пластин и электролита (от величины электродных потенциалов), но совершенно не зависит от размеров аккумулятора и почти не изменяется при различной степени разряда. Э. д. с. покоя кислотного аккумулятора изменяется в зависимости от концентрации электролита и может быть определена по плотности электролита из следующего эмпирического соотношения:

$$E_{а0} = \gamma + 0,84,$$

где γ — плотность электролита при 15° С.

Для аккумуляторов, в которых плотность электролита изменяется в пределах 1,08—1,28, э. д. с. изменяется соответственно в пределах 1,92—2,12 *в*.

Э. д. с. аккумулятора может быть приблизительно измерена с помощью вольтметра с большим внутренним сопротивлением (не менее 1000 *ом* на 1 *в*). Измерять э. д. с. следует после пребывания аккумулятора в течение некоторого времени в покое, с тем чтобы плотность электролита в порах пластин и сосуде стала одинаковой.

Напряжение аккумулятора при разряде $U_р$ меньше его э. д. с. E на величину падения напряжения в нем:

$$U_р = E - I_р R_а,$$

где $I_р$ — разрядный ток;

$R_а$ — внутреннее сопротивление аккумулятора.

Величина среднего напряжения разряда принимается равной 2 *в*.

Напряжение в аккумуляторе при его заряде $U_з$ можно выразить следующим соотношением:

$$U_з = E + I_з R_а,$$

где $I_з$ — зарядный ток.

Величина среднего напряжения заряда равна 2,2 *в*.

Причиной разности между этими напряжениями является не столько падение напряжения внутри аккумулятора (см. отрезки $I_р R_а$ и $I_з R_а$ на рис. 8.1 и 8.2), которое при его малом внутреннем сопротивлении исчисляется сотыми долями вольта, сколько изменение э. д. с. аккумулятора на величину ΔE (см. отрезки ΔE на рис. 8.1 и 8.2) вследствие медленной диффузии электролита в поры пластин.

Полезная мощность аккумулятора (P) равна произведению разрядного тока на его напряжение: $P = UI$.

На величину мощности, развиваемой аккумулятором во внешней цепи, существенно влияют внутренние потери аккумулятора, а также напряжение на его зажимах.

Как известно, напряжение аккумулятора при возрастании его внутреннего сопротивления будет уменьшаться, поэтому будет уменьшаться и мощность, развиваемая им во внешней цепи.

Внутреннее сопротивление аккумулятора зависит в основном от сопротивления пластин и сопротивления электролита.

Сопротивление пластин зависит от количества сернокислого свинца, отложившегося на пластинах, и по мере разряда аккумулятора возрастает.

Сопротивление электролита зависит от его температуры и с ее понижением резко возрастает. Например, при понижении температуры с +20 до —25° С сопротивление электролита увеличивается в два раза.

Поэтому для того чтобы мощность, развиваемая аккумуляторными батареями, была достаточна для питания потребителей, потребляющих большой ток (например, электрического стартера), аккумуляторы батареи должны быть полностью заряжены, а при работе в зимних условиях при низкой температуре, кроме того, и утеплены.

Емкость аккумулятора представляет собой количество электричества, которое отдает полностью заряженный аккумулятор при непрерывном разряде его током постоянной величины до допустимого напряжения, соответствующего данному разрядному току. Емкость подсчитывается как произведение разрядного тока в амперах на время разряда в часах.

Емкость аккумуляторных батарей, обозначаемая на батарее, соответствует строго определенному разрядному режиму по величине разрядного тока, определенной начальной плотности и температуре электролита.

Согласно ГОСТ номинальная емкость батарей определяется при непрерывном разряде батареи током численно равным 0,1 номинальной емкости (0,1 $Q_{ном}$) — током 10-часового режима разряда, до напряжения 1,7 *в* на отстающем аккумуляторе, при начальной плотности электролита 1,285 и его средней температуре +30° С.

Для сравнения различных аккумуляторов нужно знать режим разряда, установленный для определения их номинальной емкости, и если их номинальные емкости определены при различных режимах, необходимо привести их к одинаковому режиму разряда.

Емкость аккумулятора зависит от ряда факторов: величины разрядного тока, температуры и плотности электролита, срока службы аккумулятора, а также состояния его пластин. Емкость аккумулятора в значительной мере определяет его свойства, поэтому рассмотрим зависимость емкости аккумулятора от каждого из перечисленных факторов.

Зависимость емкости от величины разрядного тока. На рис. 8.3 показаны разрядные характеристики одного и того же стартерного аккумулятора, разряжаемого током различной величины при постоянной во время всех опытов температуре электролита (+30° С). Эти характеристики иллюстрируют зависимость емкости аккумулятора от величины разрядного тока.

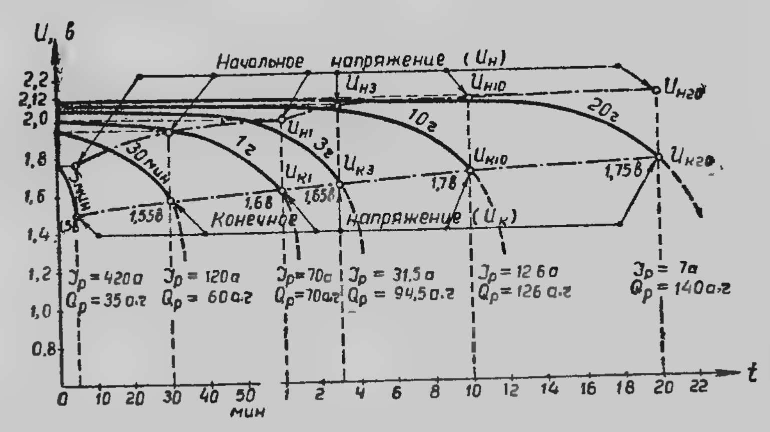


Рис. 8.3. Зависимость емкости и напряжения стартерного аккумулятора от величины разрядного тока

Из характеристик видно следующее.

1. С увеличением разрядного тока $I_р$ емкость аккумулятора $Q_р$ резко снижается. Например, при разряде аккумулятора током, равным 7 *а* (20-часовой режим разряда), емкость аккумулятора равна 140 *а·ч*; при разряде током 12,6 *а* (10-часовой режим разряда) — 126 *а·ч*, а при разряде током 420 *а* — (5-минутный режим разряда) — всего лишь 35 *а·ч*.

Таким образом, чем больше разрядный ток, тем меньше отдаваемая емкость аккумулятора.

2. При увеличении разрядного тока возрастает падение напряжения в аккумуляторе, в результате чего начальное напряжение аккумулятора $U_н$ соответственно уменьшается.

3. При увеличении разрядного тока резко снижается конечное напряжение аккумулятора: резкий перегиб кривых напряжения (см. на разрядных характеристиках точки перехода сплошных линий в пунктирные) происходит при меньших значениях напряжения.

Поэтому для больших значений разрядного тока допускается меньшая величина конечного напряжения. Например, при разрядном токе, равном 7 *а* (рис. 8.3), допускается разряд аккумулятора до конечного напряжения, равного 1,75 *в*, а при разрядном токе, равном 420 *а*, до конечного напряжения, равного 1,5 *в*.

Уменьшение емкости аккумулятора и его напряжения является следствием уменьшения скорости проникновения (диффузии) электролита в активной массе, расположенной в глубине пластин, при возрастании разрядного тока.

Появляющийся при разряде аккумулятора сернокислый свинец (табл. 8.2) имеет бо́льший объем, чем те вещества пластин, из которых он образуется (губчатый свинец и перекись свинца), поэтому размеры пор активной массы пластин уменьшаются.

Вследствие уменьшения пор ухудшается доступ кислоты внутрь пластин, активные вещества, расположенные в глубине пластин, почти не участвуют в рабочем процессе.

Напряжение аккумулятора при этом резко снижается, вследствие чего разряд аккумулятора при увеличении разрядного тока сопровождается уменьшением емкости.

Зависимость емкости аккумулятора от температуры. Влияние температуры на емкость и напряжение аккумулятора сильнее сказывается при большом разрядном токе, например, при включении стартера в зимних условиях.

Зависимость емкости и напряжения 12-вольтовой батареи от температуры при ее непрерывном разряде током постоянной величины показана на рис. 8.4.

В обоих случаях разрядный ток $I_р$ был одинаков и равен утроенному значению тока, при котором батарея отдает номинальную емкость, соответствующую 10-часовому режиму разряда, гарантируемую заводом при температуре +30° С; разряд батарей производился до соответствующего конечного напряжения. Верхняя кривая показывает изменение напряжения при температуре +30° С, а нижняя — при температуре —18° С. В первом случае емкость, отданная батареей, составляла 35 *а·ч*, а во втором — всего лишь 21 *а·ч*. Установлено, что при разрядном токе, равном 850 *а*, и понижении температуры электролита с +30 до +10° С, т. е. на 20° С, емкость аккумулятора танковой стартерной

батареи снижается на 8,5%. Следовательно, при этих условиях понижение температуры на 1° С вызывает снижение емкости батареи на 4,25%.

Причиной уменьшения емкости аккумулятора при понижении температуры является резкое повышение вязкости электролита, сопровождаемое ухудшением диффузии электролита в поры пластин. Например, при понижении температуры от +30 до 0° С вязкость электролита возрастает в два раза, а при понижении температуры до —30° С — в восемь раз по сравнению с ее первоначальной величиной.

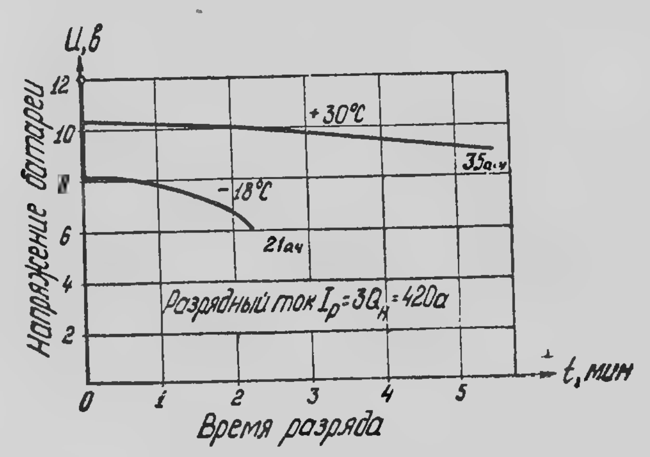


Рис. 8.4. Зависимость емкости и напряжения стартерной батареи от температуры

Поэтому с понижением температуры толщина слоя активной массы, участвующей в реакциях, уменьшается, в результате чего емкость аккумулятора понижается.

Кроме того, при температурах ниже —10° С резко возрастает сопротивление электролита, вследствие чего разряд аккумулятора большим током сопровождается значительным понижением напряжения, а при температуре ниже —20° С становится практически невозможным.

Для того чтобы уменьшить снижение емкости и напряжения при понижении температуры, в аккумуляторах уменьшают толщину пластин, применяют более пористую активную массу и при ее приготовлении добавляют в нее органические вещества, повышающие работоспособность аккумуляторов в условиях низких температур. Эти мероприятия настолько повышают работоспособность аккумуляторных батарей при низких температурах, что они обеспечивают надежный пуск двигателя стартером при температуре электролита до —20° С. Однако в период зимней эксплуатации батарей в условиях низких температур (сурового климата) целесообразно утеплять батареи, с тем чтобы уменьшить снижение их емкости и напряжения.

Зависимость емкости аккумулятора от плотности электролита. Плотность электролита влияет на емкость аккумулятора в меньшей степени, чем величина разрядного тока и температура электролита.

Емкость аккумулятора, гарантируемая заводом, может быть получена при определенной плотности электролита и определенной его температуре. Для того чтобы аккумулятор отдал емкость, гарантируемую заводом, плотность электролита в начале разряда при температуре электролита +15° С должна быть 1,295±0,005 или 1,285±0,005 при температуре электролита +30° С.

Приведенное изменение плотности обусловлено тем, что при увеличении температуры на 1° С плотность электролита уменьшается на 0,0007.

В центральных районах плотность электролита для увеличения срока службы батарей принимают равной 1,27.

В районах, где возможна температура —40° С и ниже, рекомендуется повышать плотность до 1,31. Такое повышение плотности уменьшает снижение емкости и вероятность замерзания электролита. Самую низкую температуру замерзания (—74° С) имеет электролит плотностью 1,29 (при +15° С).

Зависимость емкости аккумулятора от срока его службы. Емкость аккумулятора в процессе его службы изменяется: в начале эксплуатации аккумулятора его емкость увеличивается благодаря увеличению пористости пластин при зарядах и разрядах. Например, танковая батарея 6-СТЭН-140М, разряжаемая после первого заряда током 10-часового режима, отдает не менее 90% емкости, а после второго заряда — 100%. При правильном уходе емкость батареи при дальнейшей эксплуатации возрастает на 5—10%.

В конце срока службы емкость батареи начинает уменьшаться вследствие разрушения положительных пластин и уменьшения пористости отрицательных пластин аккумуляторов.

Обычно батареи к исходу гарантийного срока службы отдают не менее 90% емкости, приведенной к температуре +30° С.

Отдача аккумулятора по емкости представляет собой отношение количества ампер-часов, полученных при разряде аккумулятора, к количеству ампер-часов, затраченных при его заряде. Отдача по емкости согласно техническим условиям при длительных режимах разряда должна быть не менее 80%.

§ 8.5. КОНСТРУКЦИЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Танковые батареи выпускаются с заряженными высушенными пластинами. Эти батареи герметизированы, способны длительное время сохранять первоначально сообщенный им заряд и быстро приводятся в рабочее состояние.

Танковые аккумуляторные батареи состоят из шести или двенадцати аккумуляторов, соединенных последовательно. Номиналь-

ное напряжение батареи, состоящей из шести аккумуляторов, равно 12 *в*, а из двенадцати — 24 *в*.

Аккумуляторы установлены в деревянном ящике *6* (рис. 8.5), закрываемом крышкой *1*. Ящик и крышка окрашены кислотостойким лаком. На передней стенке ящика закреплены выводные зажимы *10*, закрываемые защитной коробкой *4*. Во всех типах танковых батарей выводные зажимы имеют одинаковое расположение: положительный зажим «+» расположен справа, а отрицательный «—» — слева.

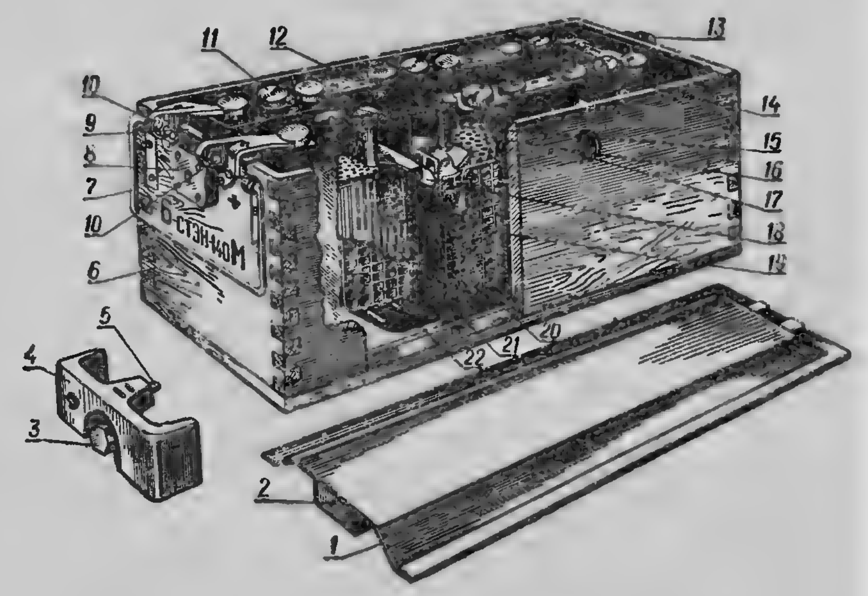


Рис. 8.5. Аккумуляторная батарея 6-СТЭН-140М:

1 — крышка батареи; *2* — отверстие для крепления крышки; *3* — болт крепления защитной коробки; *4* — защитная коробка; *5* — выступ для крепления коробки; *6* — ящик батареи; *7* — ручка; *8* — щиток для крепления защитной коробки; *9* — предохранительный винипластовый щиток; *10* — выводные зажимы батареи; *11* — пробка заливного отверстия; *12* — межэлементное соединение; *13* — захват для крепления крышки; *14* — крышка аккумулятора; *15* — выводной штырь; *16* — предохранительный щиток; *17* — гайка стяжной ленты; *18* — стяжная лента; *19* — отрицательная пластина; *20* — призма; *21* — сепаратор; *22* — положительная пластина

На передней стенке ящика указан тип батареи, например 6-СТЭН-140М.

Цифры и буквы (маркировка) танковых батарей с сухими заряженными пластинами означают следующее:

— первая цифра **6** указывает число аккумуляторов, соединенных последовательно, а значит, и номинальное напряжение батареи (12 *в*);

— буквы **СТ** указывают назначение батареи, т. е. что батарея стартерная;

— буквы **ЭН** соответственно обозначают материал сосудов (эбонит) и новую серию (Н);

— цифра **140** указывает емкость батареи при 20-часовом режиме разряда;

— буква **М** — материал сепараторов (мипор — микропористый эбонит).

Батарея этого же типа, имеющая сепараторы из мипласта (микропористая пластмасса), имеет маркировку 6-МСТ-140.

24-вольтовая танковая батарея типа 12-СТ-70 маркируется аналогично, но ее емкость (70 *а·ч*) указана соответственно 10-часовому режиму разряда, предусмотренному ГОСТ. Батарея маркируется 12-СТ-70, если она имеет сепараторы из мипласта, и 12-СТ-70М при сепараторах из мипора.

Каждый аккумулятор состоит из положительных и отрицательных пластин, разделенных друг от друга сепараторами.

Пластины состоят из тонкой свинцовой решетки и вмазанной в нее активной массы. Решетки пластин для уменьшения трудоемкости их изготовления отливаются одновременно для двух одноименных пластин из свинца, содержащего для улучшения литейных свойств и повышения прочности 6% сурьмы.

Решетки разноименных пластин отличаются толщиной: решетка положительных пластин обычно толще, чем отрицательных.

Активная масса пластин изготовляется в виде паст, которые вмазываются в пустоты решетки. Основным исходным материалом для изготовления паст являются порошкообразные свинцовые окислы, замешиваемые на водных растворах серной кислоты. Порошки паст разноименных пластин отличаются в основном степенью окисления свинца: свинец порошка пасты положительных пластин окислен в большей степени. Поэтому положительные пластины после сушки имеют розовый цвет, а отрицательные — зеленовато-серый.

Для получения пористой структуры в пасту отрицательных пластин вводят дополнительно инертные вещества — расширители, улучшающие работоспособность аккумулятора в условиях низких температур, а также сохраняющие его емкость и гарантируемый заводом срок службы при заряде в конце хранения.

Одноименные пластины после их разрезки соединяются между собой параллельно в полублоки (рис. 8.6). При этом ушки пластин привариваются к общей баретке, имеющей полюсный вывод (штырь).

Количество пластин в аккумуляторе определяет емкость батареи. Например, в каждом аккумуляторе батареи 6-СТЭН-140М (рис. 8.5) 9 положительных и 10 отрицательных пластин.

Число отрицательных пластин в аккумуляторе на одну больше положительных.

При указанном соотношении числа пластин положительные пластины располагаются между отрицательными и, равномерно разряжаясь с обеих сторон, подвергаются меньшему короблению.

Положительные пластины толще отрицательных для того, чтобы их емкость была равна емкости всех отрицательных пластин и не лимитировала емкости аккумулятора.

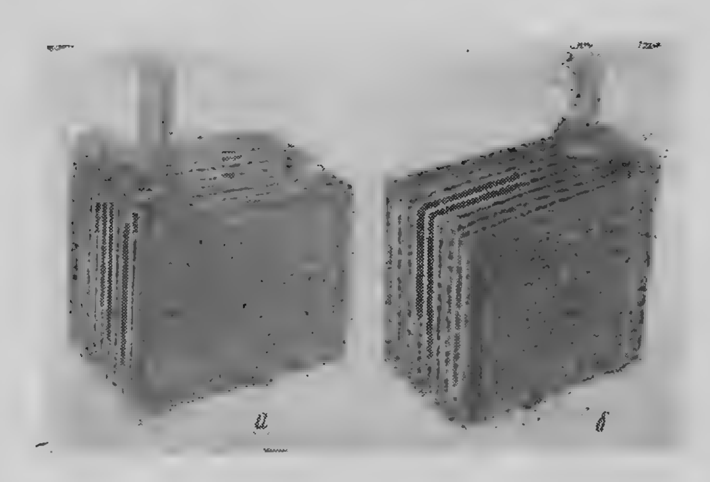


Рис. 8.6. Полублоки отрицательных (*а*) и положительных (*б*) пластин

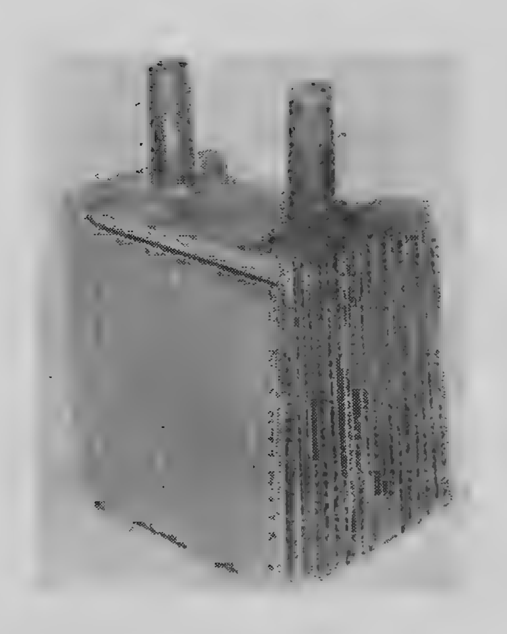


Рис. 8.7. Блок пластин аккумулятора

Разноименные пластины (полублоки) собирают в блок (рис. 8.7), устанавливая между пластинами сепараторы, устраняющие возможность их соприкосновения. Сверху пластины защищают от повреждения предохранительным щитком из перфорированного хлорвинила.

Сепараторы танковых батарей изготовляют обычно из мипласта или мипора. Сепараторы из мипласта имеют розовый цвет, а сепараторы из мипора — зеленовато-коричневый (табачный).

Сепараторы этого типа не ограничивают срок службы батарей, имеют малое удельное сопротивление, а также позволяют выпускать батареи с сухими заряженными пластинами, отличающиеся длительным сроком хранения и быстротой приведения в рабочее состояние.

Сепараторы устанавливают между пластинами так, чтобы их ребра были расположены вертикально и обращены к положительным пластинам, а гладкая сторона — к отрицательным.

При таком положении сепараторов облегчается доступ электролита в поры положительных пластин, а также уменьшается уплотнение отрицательных пластин аккумулятора, что повышает его эксплуатационные качества. Собранный блок пластин устанавливается плотно в отдельный бачок, чем исключается возможность движения пластин в бачке и их повреждение.

Бачок аккумулятора изготовлен из эбонита. На дне бачка имеются ребра — призмы, на которые опираются своими опорными ножками пластины аккумулятора (рис. 8.5). Полость между призмами служит для скопления осыпающейся с течением времени активной массы пластин (шлама), чтобы исключить возможность замыкания шламом нижних кромок пластин и тем самым избежать закорачивания разноименных пластин аккумулятора.

Крышки *14*, закрывающие собранные аккумуляторы сверху, изготовляются из пластмассы или эбонита. Корпус *1* крышки (рис. 8.8) имеет заливное отверстие, закрываемое резьбовой пробкой *3*, и две, закрепленные в корпусе при изготовлении, свинцовые ребристые втулки *2* для выводных полюсов аккумулятора.

Пробка крышки имеет вентиляционное отверстие *а*, уплотнительную резиновую шайбу *4* и эбонитовый отражательный диск *5*, препятствующий выплескиванию электролита на наружную поверхность батареи через вентиляционное отверстие пробки, а имеющиеся в нем два выреза обеспечивают сообщение внутренней полости аккумулятора с атмосферой.

В новом аккумуляторе для его герметизации в горловину заливного отверстия перед завертыванием пробки вставляется глухая резиновая уплотнительная шайба (на рисунке не показана). При вводе батареи в эксплуатацию эти шайбы удаляют.

Места выхода выводных полюсов аккумулятора наружу уплотняются при приварке межэлементных соединений *6*. Эти соединения надевают на выступающие кольцевые буртики втулок *2*, закрепленных в крышках, и сваривают выводной штырь, буртик втулки и межэлементное соединение. Такой способ соединения

этих деталей обеспечивает надежное уплотнение места выхода полюсов наружу и малое переходное сопротивление соединения.

К крайним выводным штырям первого и последнего аккумуляторов приваривают выводные зажимы, закрепленные винтами на передней стенке ящика.

Батарея после сборки закрывается сверху крышкой, изготовленной из дельта-древесины, а ее выводные зажимы — защитной коробкой. Поверхности ящика и крышка батареи окрашиваются кислотостойким лаком.

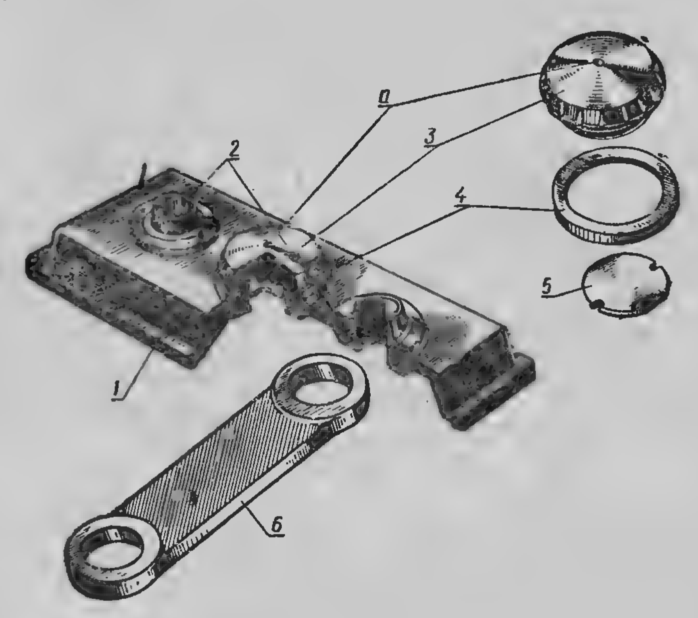


Рис. 8.8. Аккумуляторная крышка (разрез):

1 — корпус крышки; *2* — свинцовые втулки для выводных полюсов; *3* — резьбовая пробка заливного отверстия; *4* — уплотнительная резиновая шайба пробки; *5* — эбонитовый диск пробки; *6* — межэлементное соединение; *а* — вентиляционное отверстие пробки

Стартерные аккумуляторные батареи типа 12-СТ-70 (рис. 8.9) состоят из 12 аккумуляторов, соединенных последовательно. Номинальное напряжение батарей этого типа 24 *в*, а емкость при 10-часовом режиме разряда 70 *а·ч*.

Основным преимуществом батарей этого типа является их большая удельная мощность: при весе и габаритах, аналогичных танковым у батарей предшествующих типов (6-СТЭН-140М и 6-МСТ-140), батареи 12-СТ-70 развивают в стартерном режиме разряда значительно большую мощность.

Каждый аккумулятор батареи 12-СТ-70 состоит из семи положительных и восьми отрицательных пластин, разделенных сепараторами из мипласта или мипора. Пластины аккумуляторов этой батареи имеют меньшую толщину, чем пластины в батареях предшествующих типов, но не отличаются от них составом активной массы.

Для улучшения проводимости и уменьшения веса батарей внутри выводных свинцовых полюсов и межэлементных соединений имеются вкладыши из красной меди, надежно соединенные со свинцом этих деталей при их отливке.

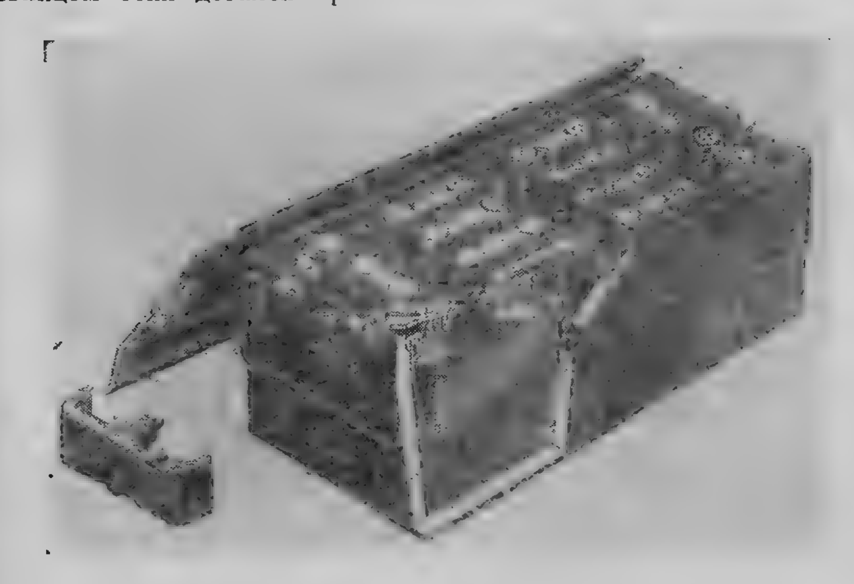


Рис. 8.9. Аккумуляторная батарея 12-СТ-70

При эксплуатации батарей 12-СТ-70 на машинах следует следить за тем, чтобы напряжение генератора, поддерживаемое регуляторами напряжения, не превышало 27,5 *в*, так как при большом зарядном токе (перезаряде батарей) происходит сильное газовыделение, в результате чего срок службы батарей сокращается.

§ 8.6. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ СТАРТЕРНЫХ БАТАРЕЙ[1] И О ИХ НЕИСПРАВНОСТЯХ

Во время эксплуатации батареи следует соблюдать следующие основные правила:

— содержать батарею в чистоте: периодически удалять с батареи пыль и грязь, нейтрализовать кислоту, попадающую на поверхность батареи, прочищать вентиляционные отверстия;

[1] При эксплуатации аккумуляторных батарей следует соблюдать требования Руководства по стартерным свинцово-кислотным аккумуляторным батареям (изд. МО, 1971), в котором приведены более подробные сведения по этому вопросу, а также руководствоваться данными, изложенными в кратких правилах эксплуатации и ухода, прилагаемых заводом-изготовителем к батарее данного типа и отражающих их особенности.

— проверять крепление батарей в гнездах, надежность соединения наконечников проводов с выводными зажимами, очищать их от продуктов коррозии и смазывать после затяжки техническим вазелином;

— поддерживать нормальный уровень электролита и проверять его плотность;

— наблюдать за зарядным током и проверять напряжение батарей по вольтамперметру, установленному на щитке механика-водителя;

— не включать стартер более чем на 5 *сек* и не включать повторно ранее чем через 10—15 *сек*;

— утеплять батареи и принимать меры к их обогреву зимой;

— не допускать разряда батарей более чем на 50% летом и на 25% зимой;

— сдавать разряженные батареи на зарядную станцию для заряда, не допуская их хранения в разряженном виде;

— независимо от степени разряженности батарей заряжать их на зарядной станции не реже одного раза в три месяца;

— производить контрольно-тренировочный цикл один раз в год

Проверка состояния и уход за батареями, установленными в танке, ограничены, вследствие трудности доступа к ним.

В этих условиях проверка состояния и уход за батареями сводятся к наблюдению за зарядным током и напряжением батарей по вольтамперметру, установленному на щитке механика-водителя, проверке надежности крепления батарей в гнездах и плотности соединения проводов с выводными зажимами батарей.

Если батареи, стартер и соединяющие их провода исправны, то пуск двигателя происходит нормально. При исправных и заряженных батареях напряжение, измеренное вольтметром при прокрутке стартером прогретого двигателя без подачи топлива, не должно быть ниже 17 *в*. Меньшее напряжение свидетельствует о неисправности батарей или о необходимости произвести заряд.

При заряженных батареях зарядный ток после 10—15 *мин* работы двигателя на средних оборотах должен быть в пределах 20—40 *а*. Большая величина зарядного тока свидетельствует о разряде батарей ниже допустимого предела.

Если стрелка вольтамперметра при нажатии на его кнопку и выключенном выключателе батарей («массе») отклоняется от нулевого положения, то это свидетельствует об утечке тока и необходимости обслуживания батарей (очистке их поверхности от грязи и нейтрализации попавшего на нее электролита) или о замыкании на корпус танка провода, соединенного с отрицательным зажимом батарей, вследствие повреждения его изоляции.

Показания вольтамперметра при нажатии на его кнопку и включенном выключателе батарей ниже 24—25 *в* свидетельствуют о наличии в батареях короткозамкнутых аккумуляторов и о необходимости отправки неисправной батареи в ремонт.

Проверка состояния и уход за батареями, снятыми с машины, могут быть проведены более полно и включают следующие операции:

— проверку уровня электролита в аккумуляторах;

— измерение плотности электролита;

— измерение электродвижущей силы (напряжение без нагрузки);

— измерение напряжения под нагрузкой.

На основании результатов этих измерений может быть сделано заключение о состоянии каждого аккумулятора, а следовательно, и вывод о состоянии батареи в целом.

Уровень электролита измеряют уровнемерной трубкой. Нормально уровень электролита должен быть выше защитного щитка на 8—10 *мм*. Уровень электролита снижается в результате естественного «выкипания» воды при заряде. При чрезмерно низком уровне электролита пластины оголяются и, соприкасаясь с кислородом воздуха, сульфатируются.

Для восстановления нормального уровня электролита в аккумуляторе разрешается доливать только дистиллированную воду.

Плотность электролита, измеренная ареометром ($\gamma_{изм}$), позволяет установить степень разряда батареи (K), если известна плотность электролита при полностью заряженном состоянии батареи ($\gamma_{зар}$) и плотность электролита, соответствующая разряду батареи на 100% ($\gamma_{разр}$). Плотность электролита зависит от температуры, поэтому для получения сопоставимых величин в показания ареометра нужно, как это указано выше, вносить поправку.

Плотность электролита при разряде батареи снижается прямолинейно, поэтому подсчет степени разряда батареи может быть произведен по следующей формуле:

$$K = \frac{\gamma_{зар} - \gamma_{изм}}{\gamma_{зар} - \gamma_{разр}} \cdot 100\%.$$

С достаточной для практики точностью можно считать, что снижение плотности электролита на 0,01 соответствует разряду танковой батареи типа 6-СТЭН-140М и 6-МСТ-140 на 5—6%.

По установленному проценту разряда батареи можно судить о ее состоянии и необходимости заряда.

Плотности электролитов, измеренные в различных аккумуляторах исправной батареи, не должны отличаться более чем на 0,01.

Измерение электродвижущей силы (напряжение без нагрузки) позволяет при ее сравнении с э. д. с., полученной расчетным путем ($E_{расч}$), по измеренной плотности электролита ($E_{расч} = 0{,}84 + \gamma_{изм}$) установить наличие соединения разноименных пластин внутри аккумулятора — так называемого «короткого замыкания».

При соединении разноименных пластин величина измеренной э. д. с. будет меньше э. д. с., полученной расчетным путем, или равна нулю при полном коротком замыкании.

По величине измеренной э. д. с. не представляется возможным судить о падении напряжения в аккумуляторе при включении на-

грузки. Поэтому этот способ проверки (измерение э. д. с.) самостоятельного значения не имеет и отдельно взятый для проверки состояния аккумулятора непригоден.

Э. д. с., измеренные в различных аккумуляторах батареи, не должны отличаться более чем на 0,1 *в*.

Измерение напряжения под нагрузкой позволяет судить о способности исправных аккумуляторов батареи не снижать напряжение ниже допустимого предела под соответствующей нагрузкой.

Поэтому измерение напряжения под нагрузкой является важным показателем состояния аккумулятора. По величине разности между напряжением под нагрузкой и измеренной э. д. с. можно судить о величине внутреннего сопротивления аккумулятора, а следовательно, и о наличии внутренних дефектов: сульфатации пластин, осыпании активной массы.

По мере разряда аккумулятора увеличивается его внутреннее сопротивление, при этом падение напряжения внутри аккумулятора возрастает, а напряжение под нагрузкой соответственно понижается.

Следовательно, напряжение, измеренное на зажимах аккумулятора под нагрузкой, зависит от степени разряда аккумулятора и его внутреннего сопротивления.



Рис. 8.10. Нагрузочная вилка

Перечисленными свойствами аккумулятора обусловлено применение нагрузочной вилки (рис. 8.10).

Однако пользоваться нагрузочной вилкой для проверки степени разряда аккумулятора не рекомендуется.

Для измерения напряжения на зажимах аккумулятора под нагрузкой острия штырей нагрузочной вилки плотно прижимают к полюсам одного из аккумуляторов батареи. При этом аккумулятор разряжается через нагрузочное сопротивление вилки, включенное между штырями током 100—200 *а*, а вольтметр показывает напряжение аккумулятора под нагрузкой, зависящей от величины сопротивления вилки. Напряжение, измеренное вольтметром нагрузочной вилки, зависит не только от величины сопротивления вилки, но и от типа проверяемой батареи.

При пользовании нагрузочной вилкой следует руководствоваться нормами и указаниями, приведенными в инструкции, прилагаемой к вилке данного типа.

Нарушение основных правил эксплуатации батарей может повлечь за собой следующие неисправности: повышенный саморазряд, короткое замыкание, отстающий (слабый) аккумулятор и сульфатацию пластин.

Большинство неисправностей обнаруживается во время проверки состояния батареи, при заряде и контрольном разряде.

Повышенный саморазряд — ускоренная потеря емкости неработающим аккумулятором, превышающая допустимую норму.

Саморазряд считается повышенным, если потеря емкости составляет более 2% в сутки.

Причины повышенного саморазряда:

— попадание электролита на наружную поверхность батареи или ее загрязнение, вызывающее утечку тока;

— загрязнение электролита посторонними примесями (особенно металлами), содержащимися в воде или серной кислоте;

— хранение батарей в условиях высокой положительной температуры.

Для устранения повышенного саморазряда, вызываемого загрязнением наружной поверхности батареи, ее нужно очистить от грязи и нейтрализовать кислоту, попавшую на поверхность батареи.

Если при этом саморазряд не устранится, то загрязнен электролит. Для устранения загрязнения надо полностью разрядить батарею, затем сменить электролит и немедленно произвести заряд батареи.

Короткое замыкание, т. е. соединение разноименных пластин внутри аккумулятора, является распространенной неисправностью, устраняемой путем разборки (ремонта).

При коротком замыкании внутреннее сопротивление аккумулятора уменьшается.

Причины короткого замыкания:

— разрушение сепараторов;

— скопление на дне бака большого количества активной массы пластин (шлама), замыкающей разноименные пластины.

Признаки короткого замыкания:

— э. д. с., измеренная вольтметром ($E_{изм}$), меньше э. д. с., полученной расчетным путем ($E_{расч}=\gamma+0{,}84$), или равна нулю;

— напряжение, измеренное на зажимах аккумулятора, имеющего короткое замыкание при его заряде, меньше, чем на зажимах других аккумуляторов; при полном коротком замыкании аккумулятор не заряжается, а при частичном — плохо принимает заряд (заряжается очень медленно — «отстает» от других).

Батареи, имеющие хотя бы один короткозамкнутый аккумулятор, подлежат ремонту.

Отстающий (слабый) **аккумулятор** появляется в батарее в результате пониженной в данном аккумуляторе плотности электролита, недостаточного его уровня, а также повышенного саморазряда, вызываемого частичным коротким замыканием.

При наличии отстающего аккумулятора (снижающего емкость батареи более чем на 10%) емкость разряжаемой батареи пони-

жается и ограничивается этим слабым аккумулятором, так как он разряжается раньше других; при заряде батареи в отстающем аккумуляторе не наблюдается признаков конца заряда (неисправный аккумулятор в процессе заряда «отстает» от исправных).

Для исправления отстающих аккумуляторов их заряжают отдельно до появления всех признаков конца заряда, после чего доводят их плотность до плотности остальных аккумуляторов батареи с точностью до $\pm 0{,}01$ и проверяют емкость батареи, разряжая ее током 10-часового режима. Отстающие аккумуляторы батареи считаются исправленными, если емкость батареи восстанавливается до нормы. Если отстающие аккумуляторы не поддаются исправлению, батарею отправляют в ремонт для замены неисправных аккумуляторов.

Если батарею с отстающим аккумулятором разряжать, то аккумулятор после отдачи всей своей емкости может переполюсоваться. После прекращения разряда переполюсованный аккумулятор восстанавливает свою полярность. Частая переполюсовка аккумулятора очень вредна, так как, сопровождаясь глубоким разрядом, совершенно выводит из строя слабый аккумулятор.

Сульфатация пластин — покрытие пластин трудно растворимыми крупными кристаллами сульфата свинца — является одной из наиболее тяжело устранимых неисправностей.

Покрытие пластин мелкими кристаллами чистого сульфата свинца является естественным процессом, неизбежно происходящим при разряде аккумулятора. Эти кристаллы при нормальном заряде аккумулятора растворяются и не снижают его работоспособности.

Образование же крупнокристаллического сульфата свинца опасно, так как он резко снижает работоспособность аккумулятора.

Причины сульфатации пластин в аккумуляторах:

— оголение пластин в результате чрезмерного понижения уровня электролита;

— систематический недозаряд;

— применение загрязненного примесями электролита или воды;

— попадание в аккумулятор вредных веществ («отравителей») при пользовании несоответствующей посудой или инструментом.

Признаки сульфатации (возрастания внутреннего сопротивления аккумулятора):

— напряжение аккумулятора, измеренное при включении нагрузки, не держится устойчивым в течение 5 *сек* и резко падает или снижается до нуля;

— напряжение батарей при включении стартера резко снижается, не обеспечивая пуск двигателя;

— напряжение на зажимах сульфатированного аккумулятора и температура его электролита при заряде батареи нормальным зарядным током выше, чем у остальных (несульфатированных) аккумуляторов, при этом газовыделение («кипение») наступает в сульфатированном аккумуляторе раньше, а плотность электролита почти не возрастает.

Приведение в рабочее состояние батарей с сухими заряженными пластинами является одной из наиболее ответственных операций по подготовке батарей к работе, так как от этого в значительной мере зависит срок их службы.

При приведении батарей в рабочее состояние следует точно соблюдать указания Руководства.

Заряд аккумуляторных батарей может производиться различными способами и различным зарядным оборудованием.

Заряд при постоянстве тока является основным и наиболее универсальным методом, позволяющим выбирать соответствующий зарядный ток и контролировать его во время всего процесса заряда.

Этот способ заряда батарей применяется обычно при зарядке батарей на зарядной станции. Рекомендуется проводить одноступенчатый заряд током, не превышающим 1/14 части численной величины номинальной емкости батареи при 10-часовом режиме ее разряда $\left(I_з \leqslant \frac{Q_н}{14}\right)$.

Для заряда при постоянстве тока аккумуляторные батареи независимо от их напряжения (12 или 24 *в*) соединяют последовательно и присоединяют к источнику питания через реостат.

Подключаемые последовательно батареи должны иметь одинаковую емкость. При несоблюдении этого условия величина наибольшего зарядного тока будет ограничиваться зарядным током, допускаемым для батарей наименьшей емкости, вследствие чего заряд батарей большей емкости будет производиться очень медленно.

Общее число включенных аккумуляторов n определяется из расчета необходимости приложения к каждому из них в конце заряда напряжения, равного 2,7 *в*, и зависит от напряжения источника питания $U_с$, т. е. $n = \frac{U_с}{2{,}7}$, где n — число последовательно включенных аккумуляторов.

Поддержание постоянства зарядного тока $I_з$, уменьшающегося по мере заряда батарей вследствие увеличения их э. д. с. $\left(I_з = \frac{U_с - E_б}{R_б}\right)$, обеспечивается перемещением движка реостата.

Сопротивление R этого реостата выбирается так, чтобы при включенном положении в начале заряда на каждый аккумулятор приходилось напряжение, равное 2 *в*, т. е.

$$R = \frac{U_с - 2n}{I_з},$$

где n — число последовательно включенных аккумуляторов.

Заряд аккумуляторов при постоянстве тока происходит в течение продолжительного времени.

Это обстоятельство, а также необходимость наблюдения и постоянного регулирования зарядного тока являются недостатками

заряда аккумулятора током постоянной величины. Однако этот метод заряда удобен тем, что позволяет максимально использовать мощность источника питания и произвести заряд аккумулятора до конца.

З а р я д п р и п о с т о я н с т в е н а п р я ж е н и я производится при подключении аккумуляторных батарей непосредственно к источнику тока, напряжение которого равно $U_г = (2{,}3—2{,}4)\ n$. Величина зарядного тока зависит от степени разряда батарей.

Зарядный ток в начале заряда будет большим, а затем вследствие возрастания э. д. с. батарей он постепенно уменьшается, благодаря чему исключается необходимость регулировки его величины.

Заряд заканчивается при малом токе, почти не вызывающем газовыделения. Следовательно, восполнение энергии в аккумуляторе при этом способе заряда происходит в начальной стадии процесса быстро, но заряд аккумулятора до конца (полный заряд) невозможен.

Заряд батарей производится на зарядной станции не реже одного раза в три месяца независимо от степени их разряженности, а также если они разряжены на 50% летом и на 25% зимой.

Во время заряда батарей необходимо периодически проверять температуру электролита, его плотность, поддерживать нормальный уровень электролита, доливая дистиллированную воду, а также проверять напряжение на зажимах аккумулятора.

Заряд батарей считается законченным, если:

— плотность электролита и напряжение на зажимах каждого аккумулятора достигли максимальной величины и в течение 2 *ч*, т. е. при трех последовательных измерениях, остаются постоянными;

— во всех аккумуляторах батареи наблюдается интенсивное газовыделение («кипение»).

Если в процессе заряда в батареях обнаруживаются отстающие аккумуляторы, то они заряжаются отдельно до появления всех признаков конца заряда.

П о д з а р я д м а л ы м и т о к а м и. Для поддержания постоянной работоспособности аккумуляторных батарей, находящихся на хранении, их подзаряжают малыми токами. Порядок подзаряда указан в приложении 14 Руководства по стартерным свинцово-кислотным аккумуляторным батареям, издания 1971 г.

Г л а в а 9

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАРТЕРЫ

§ 9.1. УСЛОВИЯ ПУСКА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Для пуска двигателей внутреннего сгорания с помощью специального пускового устройства нужно сообщить коленчатому валу двигателя некоторую определенную скорость вращения.

Необходимая для пуска мощность стартера определяется пусковой скоростью вращения коленчатого вала, при которой обеспечивается надежный пуск, и моментом сопротивления, который следует преодолеть при вращении коленчатого вала двигателя.

Кроме того, существенное значение имеет количество оборотов коленчатого вала, необходимое для пуска, которое определяет время пуска, а следовательно, и расход энергии.

П у с к о в а я с к о р о с т ь в р а щ е н и я. Основным фактором, определяющим возможность пуска быстроходного двигателя с воспламенением от сжатия, является температура конца сжатия T_c, которая должна превышать температуру самовоспламенения дизельного топлива, впрыскиваемого в цилиндр двигателя, в конце такта сжатия.

У современных двигателей величина T_c находится в пределах 500—600° С и не должна быть ниже 350—400° С. Столь высокие значения температуры конца сжатия можно получить только при достаточно большой скорости вращения коленчатого вала двигателя.

Пусковая скорость вращения коленчатого вала $n_п$ для двигателей с воспламенением от сжатия составляет 80—100 *об/мин* при положительной окружающей температуре. Двухтактные быстроходные двигатели с воспламенением от сжатия имеют худшие пусковые качества.

Для пуска карбюраторного двигателя необходимо заполнить цилиндр горючей смесью, образованной в карбюраторе, сжать ее и затем воспламенить электрической искрой. Система зажигания обеспечивает воспламенение смеси при очень низких скоростях вращения. Поэтому пусковая скорость вращения карбюраторного двигателя определяется главным образом возможностью образования рабочей смеси необходимого качества карбюратором.

Для большинства карбюраторных двигателей автомобильного типа пусковая скорость вращения при батарейном зажигании равна $n_п = 35—50$ *об/мин.*

Количество оборотов, необходимых для пуска двигателя. Большинство современных танковых и автомобильных двигателей работает по четырехтактному циклу, в котором за два полных оборота коленчатого вала совершается три подготовительных такта и один рабочий. Поэтому теоретически для пуска должно быть достаточно двух оборотов; однако с понижением температуры потребное для пуска количество оборотов возрастает, а время пуска увеличивается.

Для пуска многоцилиндрового быстроходного двигателя с воспламенением от сжатия и непосредственным впрыском необходимое количество оборотов находится в пределах 1,5—2,5 и не превышает 10. Пуск карбюраторного двигателя автомобильного типа требует от 0,5 до 12 оборотов коленчатого вала.

Момент сопротивления. Принудительное вращение коленчатого вала двигателя при его пуске связано с преодолением следующих моментов:

M_f — момента сил трения поршней в цилиндрах, коленчатого вала в подшипниках и др., включая момент, необходимый для привода всех вспомогательных механизмов, а также момент насосных и вентиляционных потерь (сопротивление проходу газов при всасывании и выталкивании и т. п.);

M_i — момента, создаваемого при сжатии воздуха или рабочей смеси в цилиндрах двигателя;

M_j — момента сил инерции вращающихся масс при разгоне двигателя.

Величина суммарного момента сопротивления

$$M_c = M_f + M_i + M_j$$

определяется величиной момента сил трения M_f, значение которого при установившейся скорости вращения коленчатого вала составляет примерно 85% величины суммарного момента.

Для пуска двигателя необходимо, чтобы вращающий момент, развиваемый двигателем, превышал момент его сопротивления и чтобы коленчатый вал, получивший толчок от первой вспышки, мог бы продолжать вращение самостоятельно.

Пусковые устройства. Существующие пусковые устройства двигателей внутреннего сгорания можно разделить на механические, пневматические и пневмогидравлические, системы пуска сжатым воздухом и электрические.

Механический пуск двигателей с помощью пусковой рукоятки, широко использующийся для пуска автомобильных карбюраторных двигателей в качестве запасного, совершенно неприменим для пуска танковых двигателей. Большая величина пускового момента сопротивления танковых двигателей с воспламенением от сжатия совершенно исключает непосредственное применение ручного пуска.

Пневматические и пневмогидравлические стартеры также не получили распространения, ввиду их высокой стоимости и сложности изготовления.

Пуск танковых двигателей сжатым воздухом применяется очень широко.

На рис. 9.1 показана принципиальная схема системы пуска сжатым воздухом двигателя внутреннего сгорания. При пуске сжатый воздух под давлением 40—150 *кгс/см²* из баллонов *4* через кран *3* поступает в распределитель *2*, который направляет его в цилиндры двигателя в порядке их работы. Воздух в цилиндр по-

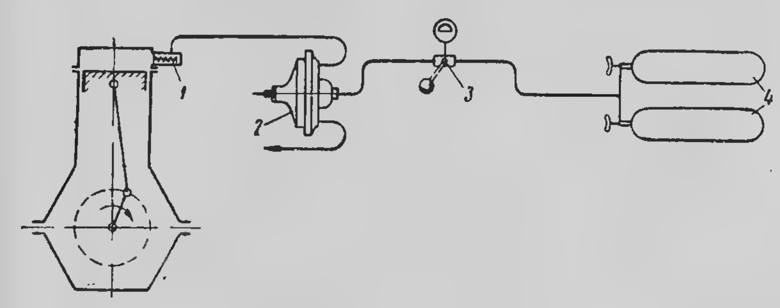


Рис. 9.1. Схема системы пуска двигателя сжатым воздухом:
1 — пусковой клапан; *2* — воздухораспределитель; *3* — кран; *4* — баллоны со сжатым воздухом

дается через пусковой клапан *1* в начале рабочего хода. Давлением воздуха на поршни обеспечивается прокручивание коленчатого вала двигателя. Запаса воздуха в баллонах хватает лишь на 10—20 пусков.

Если в танке отсутствует компрессор и возобновление запаса воздуха в баллонах при его работе невозможно, система пуска сжатым воздухом является только вспомогательной. Наличие компрессора, обеспечивающего возобновление запаса воздуха в баллонах, является основанием для того, чтобы считать систему пуска сжатым воздухом основной рабочей пусковой системой. Недостатком системы пуска сжатым воздухом является значительное охлаждение стенок цилиндров из-за понижения температуры пускового воздуха при его расширении в цилиндрах. Поэтому для устранения возможного переохлаждения двигателя при пуске, особенно в зимнее время, необходимо перед пуском его подогревать. Несмотря на большие возможности пуска танковых двигателей сжатым воздухом электрические стартеры являются наиболее распространенной системой пуска двигателя.

Электрический стартер представляет собой электродвигатель, питающийся от аккумуляторных батарей, снабженный специальным механизмом для соединения с коленчатым валом двигателя.

Наибольшее распространение получили электрические стартеры прямого действия, в которых якорь электродвигателя во время пу-

ска своей шестерней сцепляется с зубчатым венцом маховика двигателя и вращает коленчатый вал непосредственно.

Электрические стартеры прямого действия различаются по конструкции механизма для сцепления якоря стартера с маховиком двигателя на время пуска. Часто этот механизм называют приводом стартера.

В конструкции любого стартера должна быть предусмотрена возможность автоматического расцепления стартера и двигателя сразу после пуска последнего.

Автоматическое расцепление является обязательным, так как в противном случае из-за большого передаточного отношения зубчатой передачи от стартера к маховику двигателя (порядка 1—15) двигатель после пуска стал бы вращать якорь стартера с недопустимо большой скоростью (15 000—30 000 *об/мин*). При этом обмотка якоря под действием центробежной силы будет вырвана из пазов, а коллектор разрушен (происходит «разнос» стартера).

Автоматическое расцепление должно действовать безотказно, так как даже однократный отказ этого устройства в работе приводит к полному разрушению стартера вследствие разноса. Кроме того, в большинстве сцепляющих механизмов предусматривается упругое или фрикционное звено, предназначенное для снижения динамических перегрузок вала стартера.

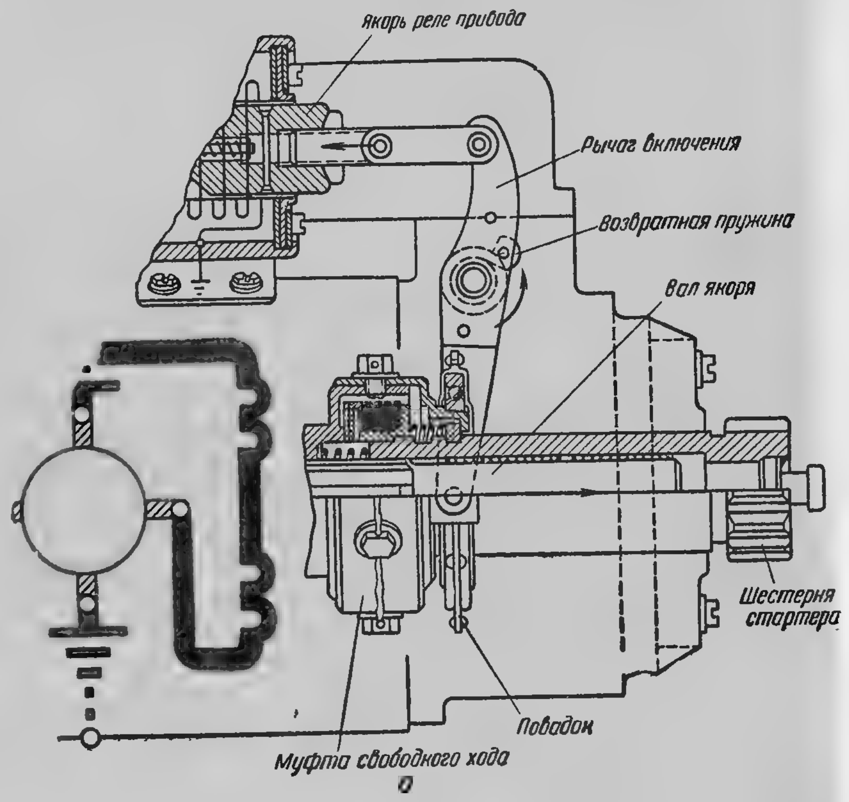
В танковых и автомобильных стартерах нашли широкое применение два типа приводов:

— привод с муфтой свободного хода (рис. 9.2, *а*);

— привод с самовыключением шестерни (рис. 9.2, *б*).

В стартерах, имеющих привод с муфтой свободного хода, ввод шестерни в зацепление с венцом маховика и подключение стартера к аккумуляторным батареям производятся с помощью тягового реле, причем стартер включается на полное напряжение батарей только после того, как его шестерня войдет в зацепление с венцом маховика полностью. Шестерня стартера будет оставаться в зацеплении с венцом маховика до тех пор, пока водитель не отпустит кнопку управления стартером.

Предохранение якоря от разноса обеспечивается муфтой свободного хода (обычно в танковых стартерах большой мощности применяется муфта фрикционного типа, а в аналогичных автомобильных стартерах значительно меньшей мощности применяются роликовые муфты свободного хода).



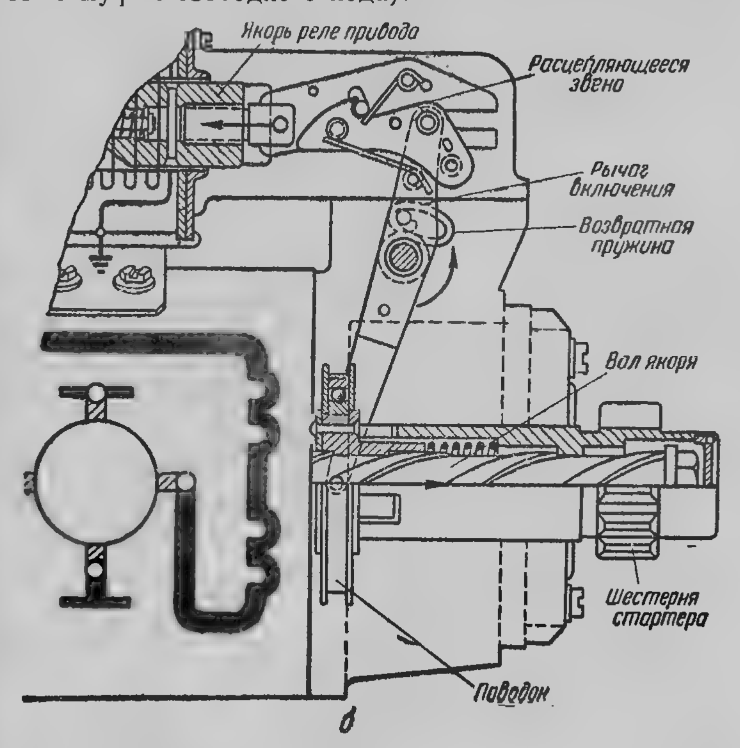


Рис. 9.2. Схемы электрических стартеров прямого действия:
а — с муфтой свободного хода в сцепляющем механизме; *б* — с самовыключением шестерни

Муфта свободного хода после пуска двигателя разобщает шестерню стартера с якорем и проскальзывает до тех пор, пока стартер не будет выключен, а его шестерня не будет выведена из зацепления. При динамических нагрузках фрикционная муфта будет пробуксовывать и тем самым ограничивать момент, передаваемый валом якоря стартера.

При выключении стартера шестерня выводится из зацепления возвратной пружиной.

В стартерах с самовыключением шестерни шестерня вводится в зацепление также тяговым реле. Шестерня движется по винтовым шлицам вала, и после входа ее в зацепление с маховиком рычаг включения расцепляется с якорем тягового электромагнита. Вследствие этого после пуска двигателя шестерня отбрасывается в исходное положение осевым усилием, возникающим в винтовых шлицах на валу стартера (рис. 9.2, *б*). В данной системе автоматическое расцепление шестерни стартера с венцом маховика при пуске двигателя обеспечивается полностью, но шестерня будет выходить из зацепления даже при отдельной случайной вспышке, а поэтому пуск холодного, плохо подготовленного двигателя потребует несколько повторных включений стартера.

Электрические стартеры прямого действия могут конструктивно объединяться с генераторами. Такие стартер-генераторы работают в стартерном режиме, как обычные стартеры прямого действия, а после пуска двигателя автоматически переходят в генераторный режим.

При применении стартер-генераторов конструкция привода усложняется, так как необходимо обеспечить работу стартер-генератора в двух режимах: стартерном и генераторном.

Вал якоря стартер-генератора постоянно соединяется с коленчатым валом через шестеренчатый редуктор. При работе в стартерном режиме, т. е. при передаче крутящего момента от стартера к коленчатому валу, передаточное отношение шестеренчатого редуктора должно быть большим для увеличения крутящего момента, подводимого к коленчатому валу двигателя.

При работе в генераторном режиме, т. е. при передаче крутящего момента от коленчатого вала к генератору, передаточное отношение редуктора должно быть значительно уменьшено, для того чтобы ограничить максимальную скорость вращения генератора и предотвратить разнос якоря стартер-генератора.

Переход от стартерного режима к генераторному после пуска двигателя должен происходить автоматически.

На рис. 9.3 показана конструктивная схема привода к стартер-генератору с переключением со стартерного режима на генераторный режим с помощью ц е н т р о б е ж н о й х р а п о в и к о в о й м у ф т ы с в о б о д н о г о х о д а.

При работе в стартерном режиме крутящий момент передается от стартер-генератора *9* к коленчатому валу через эластичную муфту *8*, шестерню *4*, шестерню *2*, являющуюся ведущей частью

храповиковой муфты, центробежную храповиковую муфту *3*, шестерню *10* и шестерню *1*.

После пуска двигателя скорость вращения коленчатого вала возрастает и вместе с ней увеличивается скорость вращения кулачков *11* центробежной храповиковой муфты. Кулачки посажены

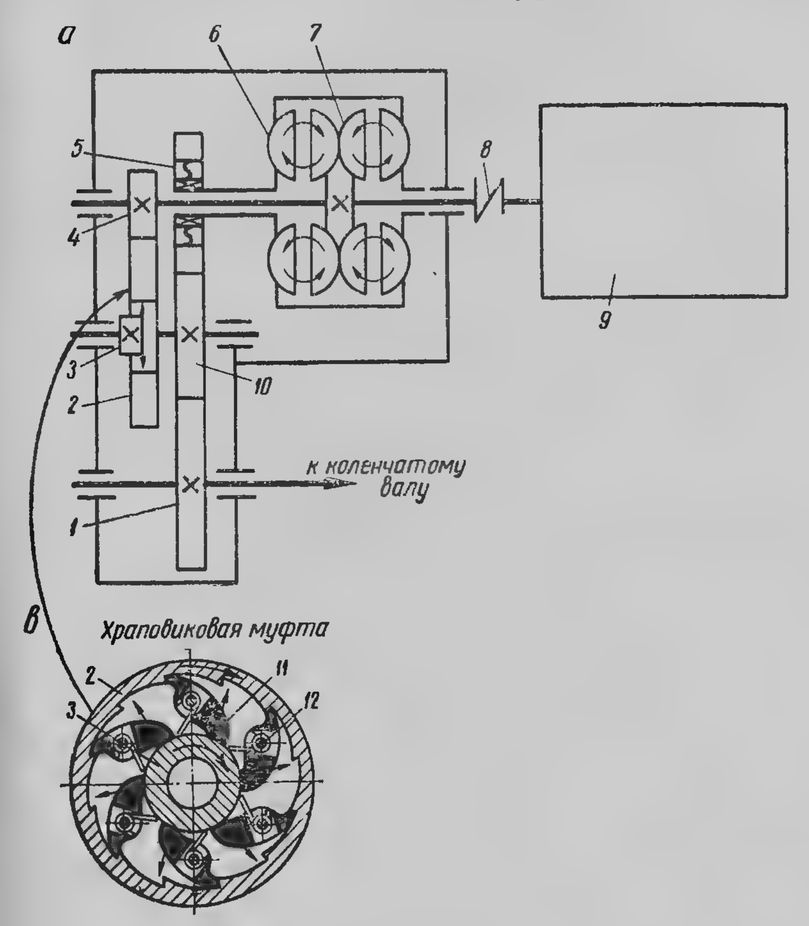


Рис. 9.3. Схема привода стартер-генератора с центробежной муфтой свободного хода:

1 — шестерня привода; *2* — шестерня центробежной муфты; *3* — центробежная храповиковая муфта свободного хода; *4* — ведущая шестерня; *5* — шестерня; *6* — насос (корпус гидромуфты); *7* — турбина; *8* — эластичная муфта; *9* — стартер-генератор; *10* — шестерня; *11* — кулачки; *12* — ось кулачков

на осях в ведомой части муфты. Под действием центробежной силы кулачки *11* повернутся на своих осях, а выступы кулачков соскользнут с выступов на ведущей части муфты. Теперь передача крутящего момента от коленчатого вала к с т а р т е р - г е н е р а т о р у будет осуществляться через шестерни постоянного зацепления *1*,

10, *5*, насос *6* и турбину *7* гидромуфты, которая начинает работать при определенной скорости вращения. Шестерня *5* соединяется с полым валом гидромуфты через пружинный демпфер.

Помимо механических переключений, производимых в приводе при переводе стартер-генератора из стартерного режима в генераторный, необходимо также переключение в электрических цепях стартер-генератора.

§ 9.2. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СТАРТЕРА (ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАРТЕРА)

В качестве стартерного электродвигателя применяется электродвигатель постоянного тока последовательного возбуждения, обладающий хорошими тяговыми свойствами, а его характеристики наиболее соответствуют условиям пуска двигателя внутреннего сгорания.

Характеристиками стартера называются зависимости вращающего момента M, скорости вращения n, мощности P (*квт*) или N (*л. с.*), напряжения на зажимах батарей $U_б$ и напряжения на зажимах стартера $U_{ст}$ от тока $I_{ст}$, потребляемого стартером. Схема испытания стартера показана на рис. 9.4, а характеристики — на рис. 9.5. Характеристики рассчитываются и снимаются на всем диапазоне работы электродвигателя стартера от полного торможения (в начале пуска) до режима холостого хода (после пуска).

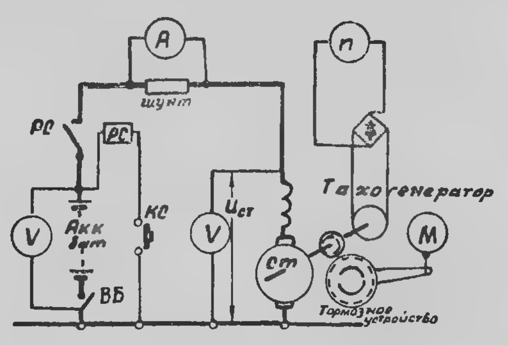


Рис. 9.4. Схема испытания стартера

Режим работы электродвигателя стартера отличается от режима работы стационарных электродвигателей постоянного тока последовательного возбуждения следующими особенностями:

— ввиду ограниченной емкости аккумуляторных батарей напряжение на зажимах стартера при увеличении нагрузки будет понижаться за счет падения напряжения в аккумуляторной батарее и соединительных проводах;

— стартерный электродвигатель допускает работу в режиме холостого хода, так как его детали рассчитываются на возникающие при этом механические нагрузки;

— поскольку стартер работает короткое время (до 5 *сек*), в течение которого нагрев обмоток не может достичь опасной величины, можно допустить режим короткого замыкания стартера (режим полного торможения).

Электромагнитный момент стартера. Вращающий момент стартера, создаваемый в результате взаимодействия тока I в проводах обмотки якоря и магнитного потока Φ полюсов, называется электромагнитным моментом:

$$M_{элм} = C_m I \Phi.$$

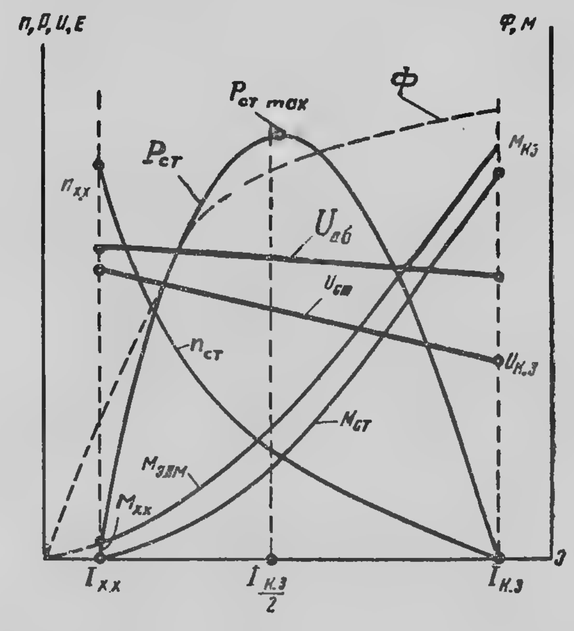


Рис. 9.5. Электрические характеристики стартера

Магнитный поток Φ стартера при увеличении тока изменяется по кривой намагничивания (рис. 9.5):

— при небольших нагрузках он пропорционален току I:

$$\Phi = C_1 I,$$

где C_1 — коэффициент пропорциональности;

— при больших нагрузках вследствие магнитного насыщения его нарастание замедляется и можно считать, что величина Φ становится постоянной:

$$\Phi_2 \approx C_2 = \text{const}.$$

Таким образом, при малых нагрузках, когда потребляемый ток также мал, величина электромагнитного момента будет пропорциональна квадрату тока, а при больших нагрузках — пропорциональна току.

Следовательно, кривая момента $M_{элм}$ вначале (при малых нагрузках) будет представлять собой параболу, а при больших нагрузках она превращается почти в прямую.

Полезный вращающий момент $M_{ст}$ на валу стартера будет меньше электромагнитного момента $M_{элм}$ на величину момента холостого хода $M_{х. х}$, который обусловлен трением между щетками и коллектором, трением в подшипниках, трением якоря о воздух, перемагничиванием стали и вихревыми токами. Поэтому характеристика полезного вращающего момента стартера $M_{ст}$ будет начинаться не от нуля, а несколько правее — от точки, соответствующей режиму холостого хода, т. е. $I_{х. х}$ (рис. 9.5).

Скорость вращения стартера может быть определена из выражения

$$n_{ст} = \frac{U_{ст} - I\sum R}{C_e \Phi}.$$

Если при малом токе $I\Sigma R \approx 0$, что допустимо ввиду очень незначительного сопротивления цепи стартера, то скорость его вращения будет равна

$$n_{ст} \approx \frac{U_{ст}}{C_e \Phi}.$$

Таким образом, при увеличении нагрузки стартера и тока I, потребляемого стартером, скорость вращения стартера будет уменьшаться. При этом кривая изменения скорости вращения примерно соответствует гиперболе (рис. 9.5).

Мощность стартера. Произведение момента стартера $M_{ст}$ на угловую скорость вращения $\omega_{ст} = \frac{2\pi n_{ст}}{60}$ дает величину полезной мощности $P_{ст} = M_{ст}\omega_{ст}$, развиваемой стартером.

На характеристике стартера (рис. 9.5) можно выделить три наиболее характерных режима работы:

1. Режим полного торможения (короткого замыкания) при токе $I_{к. з}$ (скорость вращения $n_{ст}$, полезная мощность $P_{ст}$ равны нулю, а вращающий момент $M_{ст} = M_{к. з}$ максимален). Этот режим соответствует моменту включения стартера, когда якорь стартера еще не начал вращаться. Вращающий момент $M_{к. з}$, соответствующий этому режиму, называется пусковым вращающим моментом стартера или моментом короткого замыкания.

2. Режим максимальной мощности $P_{ст. max}$ при токе, приблизительно равном $\frac{I_{к. з}}{2}$.

3. Режим холостого хода при токе $I_{х. х}$ (скорость вращения максимальная). Такой режим может быть при работе стартера вхолостую или после пуска двигателя, когда стартер еще не выключен, а его шестерня вышла из зацепления с венцом маховика.

Режимы полного торможения и холостого хода являются контрольными при проверке исправности стартера.

Режим полного торможения (короткого замыкания) характеризуется:

— максимальным током $I_{к. з}$;

— максимальным вращающим моментом $M_{к. з}$.

Величина максимального момента пропорциональна максимальному току $M_{ст. max} = M_{к. з} = C' I_{к. з}$.

Ток короткого замыкания

$$I_{к. з} = \frac{E_{а. б}}{R_б + R_{пр} + \sum R_{ст}},$$

где $E_{а. б}$ — э. д. с. аккумуляторных батарей;
$R_б$ — внутреннее сопротивление аккумуляторных батарей;
$R_{пр}$ — сопротивление проводов;
$\Sigma R_{ст}$ — суммарное сопротивление стартера.

Из уравнений видно, что величина тока $I_{к. з}$, а следовательно, и величина пускового момента стартера $M_{ст. max} = M_{к. з}$ зависят:

— от емкости аккумуляторных батарей, так как чем больше емкость батарей, тем меньше их сопротивление $R_б$ и, следовательно, тем больше вращающий момент стартера;

— от степени разряженности и температуры батарей: при разряде батарей уменьшается величина $E_{а. б}$, так как уменьшается плотность электролита γ и увеличивается сопротивление $R_б$; при понижении температуры батарей значение $R_б$ также сильно возрастает, а поэтому при разряде и понижении температуры батарей вращающий момент стартера уменьшается;

— от сопротивления соединительных проводов $R_{пр}$: нарушение контакта (ослабление затяжки или окисление поверхности контактов) в местах присоединения проводов к зажимам стартера, батарей, реле стартера и т. п. резко увеличивает переходное сопротивление контактов, вследствие чего уменьшается вращающий момент и мощность стартера.

Для танковых стартеров величина тока короткого замыкания равна $I_{к. з} = 2000$ *а*, а $M_{к. з} = 19$ *кгс·м*.

Если учесть передаточное отношение между стартером и коленчатым валом двигателя (примерно $i = 15$), а также к. п. д. η шестеренчатой передачи, получим пусковой вращающий момент $M_{к. з}$ на коленчатом валу:

$$M_{к. з} = M_{к. з} i \eta;$$

$$M_{к. з} = 19 \cdot 15 \cdot 0{,}88 = 250 \ [кгс \cdot м].$$

Пусковой момент танкового стартера ($M_{к. з} = 250$ *кгс·м*) превышает момент сопротивления танкового двигателя В-2 ($M_c = 194$ *кгс·м*), благодаря чему обеспечивается надежный пуск двигателя.

Для получения высоких значений пусковых моментов стартеров необходимо:

— наличие исправных и полностью заряженных аккумуляторных батарей;

— наличие исправной цепи питания стартера (зажимы всех соединительных проводов должны быть очищены от грязи и окислов и плотно затянуты); контакты реле должны быть чистыми.

Режим холостого хода характеризуется:

— минимальным током холостого хода $I_{x.x}$;

— максимальной скоростью вращения $n_{x.x}$.

Этот режим определяется качеством сборки стартера: чрезмерные потери на трение (тугое вращение в подшипниках или щетках) вызовут увеличение мощности, потребляемой при холостом ходе, в результате чего ток холостого хода $I_{x.x}$ увеличится, а скорость вращения $n_{x.x}$ понизится.

Для танковых стартеров величина тока холостого хода находится в пределах:

$$I_{x.x} \leqslant 115 - 145\ a,$$

а скорость вращения —

$$7500 \geqslant n_{x.x} \geqslant 5500\ об/мин.$$

§ 9.3. КОНСТРУКЦИЯ СТАРТЕРОВ

Стартер СТ-16М

Стартер СТ-16М рассчитан на номинальное напряжение 24 *в*, питается от четырех аккумуляторных батарей 6-МСТ-140 или 6-СТЭН-140М, соединенных последовательно-параллельно, и развивает мощность 11 *квт* (15 *л. с.*). Максимальный вращающий момент стартера 19 *кгс·м*. Техническая характеристика стартера приведена в табл. 9.1.

Конструкция стартера СТ-16М показана на рис. 9.6. Этот стартер принадлежит к типу стартеров с самовыключением шестерни. Управление стартером дистанционное. Сцепляющий механизм стартера показан в разобранном виде в нижней части рис. 9.6.

Свободный конец вала *19* якоря снабжен трехзаходной ленточной нарезкой с большим шагом — винтовыми шлицами. На винтовых шлицах вала якоря находится бронзовая поводковая гайка *25*, которая может свободно перемещаться по ним без люфта с помощью поводка *26* и рычага *17*. Шестерня *23* стартера снабжена длинным трубчатым хвостовиком, который движется по винтовым шлицам вала якоря со значительным боковым и осевым люфтом. Осевой люфт получен за счет того, что шлицы на внутренней части трубчатого хвостовика сделаны более узкими, чем шлицы на валу якоря. Шестерня стартера соединяется с поводковой гайкой *25* с помощью вырезов в хвостовике шестерни, в которые входят спицы поводковой гайки.

Между поводковой гайкой и хвостовиком шестерни поставлена буферная пружина *24*, которая отодвигает хвостовик шестерни от поводковой гайки. При воздействии на шестерню осевого усилия последняя может сближаться с поводковой гайкой на величину люфта между шлицами хвостовика и вала.

Таблица 9.1

Основные технические данные стартеров

Технические данные	Тип стартера		
	СТ-16М	СГ-10 стартерный режим	С-5
Номинальная мощность, *квт* (*л. с.*)	11 (15)	14,72 (20)	5,5
Емкость батарей, *а·ч*	280	140	
Номинальное напряжение, *в*	24	48	24
Длина стартера	426	470	
Напряжение вращения со стороны привода	Левое	Левое	Правое
Тип привода	Автоматически расцепляющийся механизм	Шестеренчатый редуктор с храповиковой муфтой	Инерционный с фрикционной муфтой
Система управления	Дистанционная	Дистанционная	Дистанционная
Холостой ход при напряжении 24 *в*:			
потребляемый ток, *а*	Не выше 115	Не выше 120	Не выше 115
скорость вращения, *об/мин*	Не ниже 5500	—	5500
Скорость вращения при максимальной мощности, *об/мин*	1100	—	1000
Полное торможение:			
потребляемый ток, *а*	Не выше 2000	2000*	1100
крутящий момент, *кгс·м*	Не ниже 19	(20)*	11
Число полюсов	4	4	4

* Данные ориентировочные.

Поводок *26* соединен с рычагом *17* включения, который в свою очередь соединяется с якорем электромагнита реле привода с помощью механизма с расцепляющимся звеном.

Этот механизм состоит из тяги *14* с плавающим штифтом *11* и крючка *10* с пружиной. Крючок *10* шарнирно укреплен на верхнем плече рычага *17* включения.

В исходном (выключенном) положении стартера крючок *10* зацеплен за плавающий штифт *11*, который установлен в косом пазе *12* тяги *14*. В рабочем (включенном) положении, т. е. при передаче крутящего момента от стартера на венец маховика, крючок *10* расцеплен с плавающим штифтом *11* и, следовательно, якорь электромагнита реле привода не будет связан с рычагом включения. При возвращении деталей привода в исходное положение происходит повторное сцепление крючка с плавающим штифтом *11*.

Электрическая схема стартера СТ-16М показана на рис. 9.7.

Рис. 9.6. Стартер СТ-16М:

1 — подвижный контакт; *2* — зажимы неподвижных контактов; *3* — зажим обмоток реле; *4* — возвратная пружина подвижного контакта; *5* — шток; *6* — пружина дополнительного хода; *7* — толкатель с пружиной; *8* — якорь; *9* — шпилька; *10* — крючок; *11* — плавающий штифт; *12* — паз; *13* — ось крючка; *14* — тяга; *15* — упорный штифт; *16* — возвратные пружины; *17* — рычаг включения; *18* — подшипники; *19* — вал якоря; *20* — ограничительная гайка; *21* — пружинное кольцо; *22* — заглушка; *23* — шестерня стартера с хвостовиком; *24* — буферная пружина; *25* — бронзовая гайка; *26* — поводок; *27* — пружинное кольцо; *28* — упорное кольцо; *29* — дисковая буферная пружина

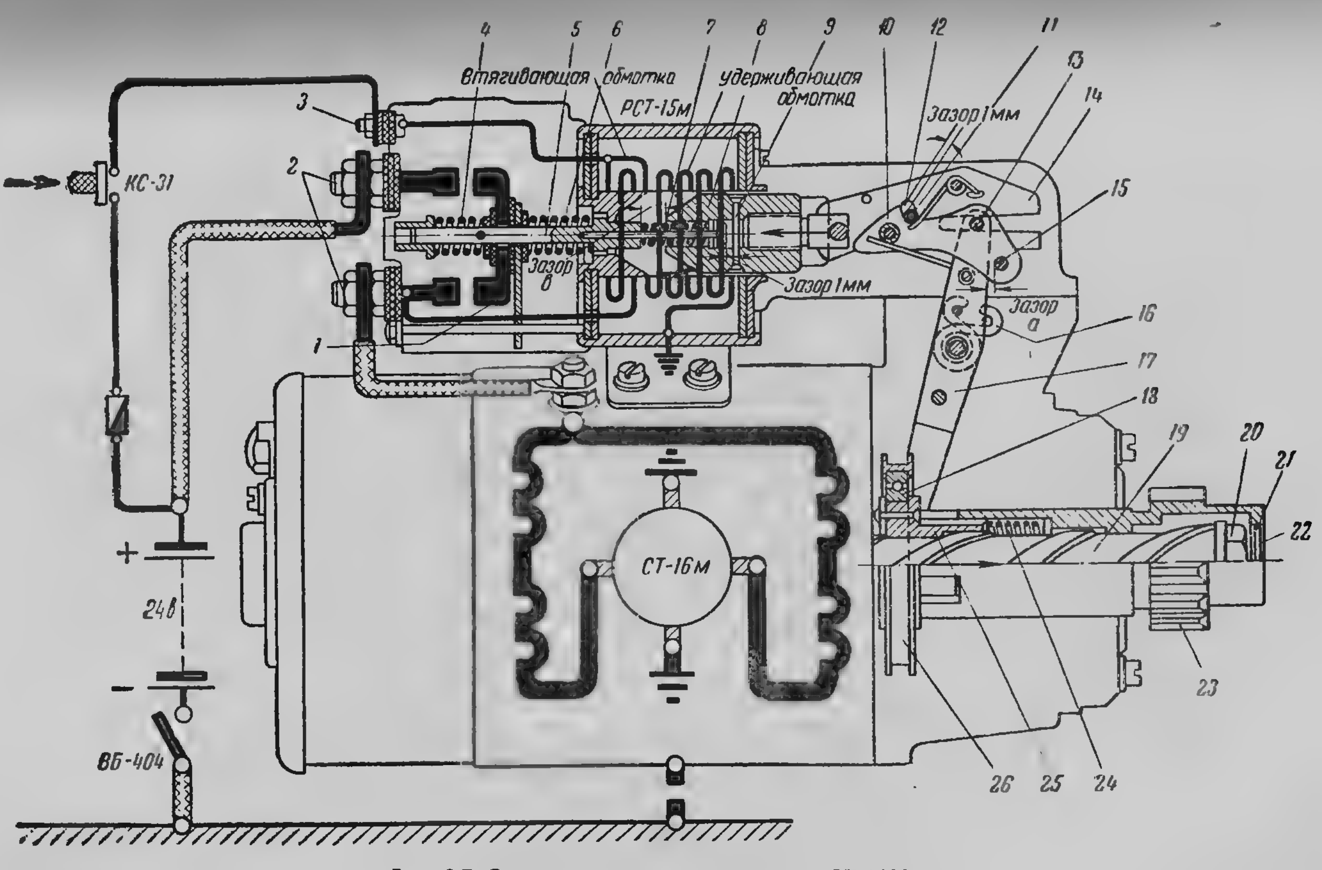


Рис. 9.7. Электрическая схема стартера СТ-16М (Обозначение позиций *1—26* то же, что на рис. 9.6)

При нажатии на кнопку стартера КС-31 ток от батарей поступает во втягивающую и удерживающую обмотки реле привода РСТ-15М. Ток, прошедший через втягивающую обмотку реле, проходит и через стартер. Этот ток равен 50 *а*. Во время притяжения якоря электромагнита к стопе вплоть до замыкания контактов главной цепи якорь стартера будет медленно вращаться, а его шестерня будет перемещаться, скользя по винтовым шлицам вала.

В случае утыкания шестерни стартера в торцы зубьев маховика ее поступательное движение прекращается, но поводковая гайка за счет сжатия буферной пружины продолжает перемещаться дальше и, скользя по винтовым шлицам, поворачивает шестерню стартера на половину зубцового шага, чем и обеспечивается надежный ввод шестерни стартера в зацепление с маховиком.

В конце хода якоря *8*, когда шестерня стартера вошла в зацепление с маховиком приблизительно на $^2/_3$ длины зуба, замыкаются контакты реле привода и втягивающая обмотка реле закорачивается. Тем самым стартер включается на полное напряжение батарей и приходит во вращение, развивая полную мощность.

При передаче стартером вращающего момента в винтовых шлицах возникает усилие, которое перемещает шестерню до упора в ограничительную гайку *20*. При этом вместе с шестерней будет двигаться поводок *26* и рычаг включения; при повороте рычаг нажмет на штифт *15* крючка и выведет последний из зацепления с плавающим штифтом *11*. Таким образом, во время передачи стартером вращающего момента шестерня будет удерживаться в крайнем правом положении осевым усилием, возникающим в винтовых шлицах, а якорь электромагнита реле привода, расцепленный с рычагом включения, будет притянут до упора в стопу.

Как только двигатель будет запущен или хотя бы даст отдельную вспышку, шестерня стартера становится ведомой. Вследствие этого осевым усилием, направление которого меняется на обратное, а также силой возвратной пружины шестерня вместе с поводковой гайкой и рычагом отбрасывается в исходное положение и выходит из зацепления с маховиком. Упорное кольцо *28* (рис. 9.6) и дисковая пружина *29* служат для смягчения получающегося при этом удара. Якорь электромагнита остается в притянутом положении, а стартер продолжает вращаться вхолостую до тех пор, пока не будет выключена кнопка КС-31. После выключения последней стартер останавливается, а якорь *8* электромагнита, отходя в исходное положение под действием своих возвратных пружин *4* и *7*, снова сцепляется с крючком *10* рычага *17* включения.

Стартер С-5

Стартер С-5 выполнен на той же базе, что и стартер СТ-16М, но отличается конструкцией приводного механизма: стартер С-5 имеет инерционный привод с предохранительной фрикционной муфтой. При включении стартера такой привод обеспечивает ввод

шестерни в зацепление с венцом маховика, а после пуска двигателя — самовыключение шестерни. Предохранительная муфта ограничивает вращающий момент, который может передаваться на вал якоря. На свободном конце вала *1* якоря (рис. 9.8) имеется трехзаходная шлицевая резьба. На шлицах посажен корпус *2* фрикционной муфты, который выполняет функции ведущего барабана. Внутри корпуса муфты находится пакет стальных фрикционных дисков *8*. Ведущие диски наружными выступами входят в пазы ведущего барабана *2*, ведомые диски своими внутренними выступами — в пазы втулки *9*, выполняющей функции ведомого барабана. Эта втулка посажена на шлицы хвостовика шестерни *15*. Пакет фрикционных дисков опирается на нажимное кольцо *7* и две дисковые пружины *6*, которые в свою очередь опираются на внутренний кольцевой выступ корпуса. Хвостовик шестерни удерживается в корпусе муфты стопорными полукольцами *17*. Буферная пружина *3* выбирает люфт между корпусом муфты и хвостовиком шестерни, а пружина *4* обеспечивает предварительное сжатие пакета фрикционных дисков.

Когда стартер передает вращающий момент коленчатому валу двигателя, корпус фрикционной муфты под действием осевого усилия, возникающего в винтовой нарезке вала якоря, перемещается вправо и сжимает пакет фрикционных дисков. Кольцо *7*, нажимая своим выступом на дисковые пружины *6*, будет прогибать их, и фрикционные диски сожмутся с силой, равной силе реакции прогнувшихся шайб. Если момент, передаваемый муфтой, возрастает, прогиб шайб увеличится. Усилие, сжимающее диски *8*, будет расти до тех пор, пока втулка *9* своим торцом не упрется в шайбы *6*. Такое положение втулки ограничивает возможный прогиб шайб *6*, а следовательно, и вращающий момент, передаваемый муфтой. Дальнейшее возрастание вращающего момента, приложенного к муфте, приведет к ее пробуксовке.

Все это ограничивает величину максимального момента, передаваемого муфтой, и предохраняет от поломок вал якоря и детали привода при динамических перегрузках.

Величину момента пробуксовки муфты можно изменять регулировочными шайбами *18*, ставя их между нажимным кольцом и пакетом фрикционных дисков *8*.

Перемещение муфты и шестерни *15* с хвостовиком вдоль вала ограничивается втулкой *13*, которую во время сборки надевают на вал и поворачивают на 90°. Втулка своими заплечиками входит в зацепление с ограничительными выступами *14*. Возвратная пружина *12* выбирает люфт между упорной втулкой *11* и ограничительной втулкой *13*, обеспечивая надежное замковое соединение и удержание привода в исходном положении.

Сразу же после нажатия механиком-водителем кнопки стартера КС срабатывает контактор КМ-600Д и стартер подключается на полное напряжение аккумуляторных батарей. Якорь начинает вращаться с большим угловым ускорением, а фрикционная муфта вместе с шестерней *15* вследствие инерции стремится остаться на

месте. Это вызывает свинчивание фрикционной муфты по винтовым шлицам и ее перемещение вдоль вала.

При утыкании зубьев шестерни стартера в зубья венца маховика поступательное движение шестерни временно прекращается. В этот момент якорь продолжает вращаться, фрикционная муфта включена, поэтому угловая скорость шестерни резко возрастает. Усилие, возникающее в винтовых шлицах, вызывает сжатие буферной пружины *3*. Под действием осевой силы происходит соскальзывание зубьев в пазы венца маховика. Удар, возникающий при утыкании зубьев, воспринимается и ослабляется буферной пружиной *3*.

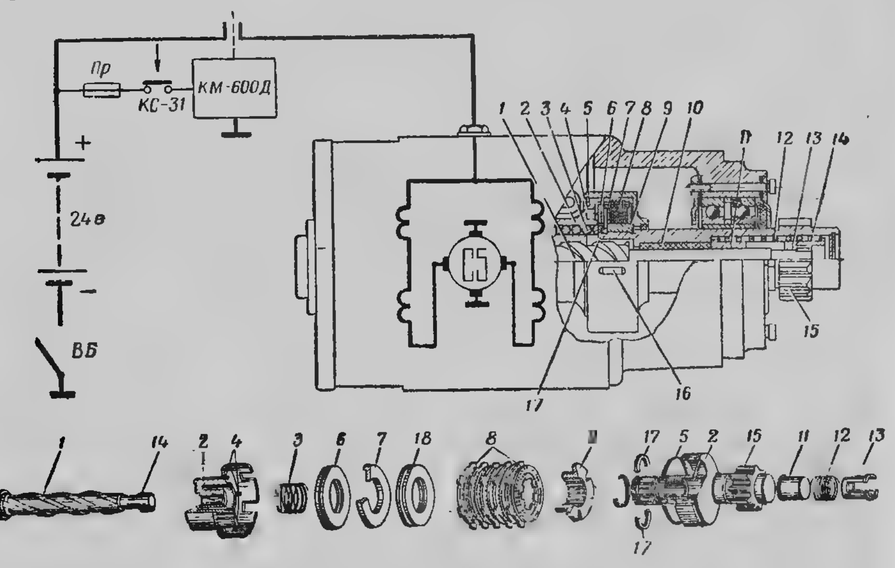


Рис. 9.8. Стартер С-5:

1 — вал якоря с винтовой нарезкой; *2* — корпус фрикционной муфты (ведущий барабан); *3* — буферная пружина; *4* — пружина предварительного сжатия; *5* — запорное кольцо; *6* — дисковые пружинные (гарантийные) шайбы; *7* — нажимное кольцо; *8* — фрикционные диски (5 ведущих и 5 ведомых); *9* — втулка (ведомый барабан); *10* — подшипник скольжения; *11* — упорная втулка; *12* — возвратная пружина; *13* — ограничительная (стопорная) втулка; *14* — ограничительные выступы; *15* — шестерня стартера; *16* — сухари ведущего барабана; *17* — стопорные полукольца; *18* — регулировочные шайбы

После ввода в зацепление с венцом маховика шестерня *15* продолжает поступательное движение до тех пор, пока упорная втулка *11* не дойдет до ограничительной втулки *13*. В этом положении возвратная пружина *12* сжимается полностью. Время, в течение которого происходит зацепление шестерни с венцом маховика, составляет примерно 0,03 *сек*.

Как только двигатель запустится или хотя бы даст отдельную вспышку, шестерня стартера становится ведомой. Вследствие этого осевым усилием, направление которого изменяется на обратное, а также силой возвратной пружины *12* шестерня вместе с фрикци-

онной муфтой отбрасывается (свинчивается по шлицам) в исходное положение и выходит из зацепления.

Если после пуска двигателя кнопка стартера не будет выключена, то повторного включения шестерни не произойдет. Это объясняется тем, что якорь стартера вращается равномерно без углового ускорения, а привод удерживается возвратной пружиной в исходном положении. После отпускания кнопки КС стартер отключается от аккумуляторных батарей и останавливается.

§ 9.4. СТАРТЕР-ГЕНЕРАТОР СГ-10

Увеличение мощности потребителей электрической энергии в танке потребовало увеличения мощности генераторов до 10 *квт*. При этом мощность генератора стала соизмеримой с мощностью, необходимой для пуска танковых двигателей. Это обстоятельство позволило выполнить универсальную электрическую машину, пригодную для работы в двух режимах: стартерном и генераторном.

Применение одной и той же электрической машины в генераторном и двигательном (стартерном) режимах основано на известном принципе обратимости электрических машин. При выполнении комбинированной электрической машины достигается уменьшение

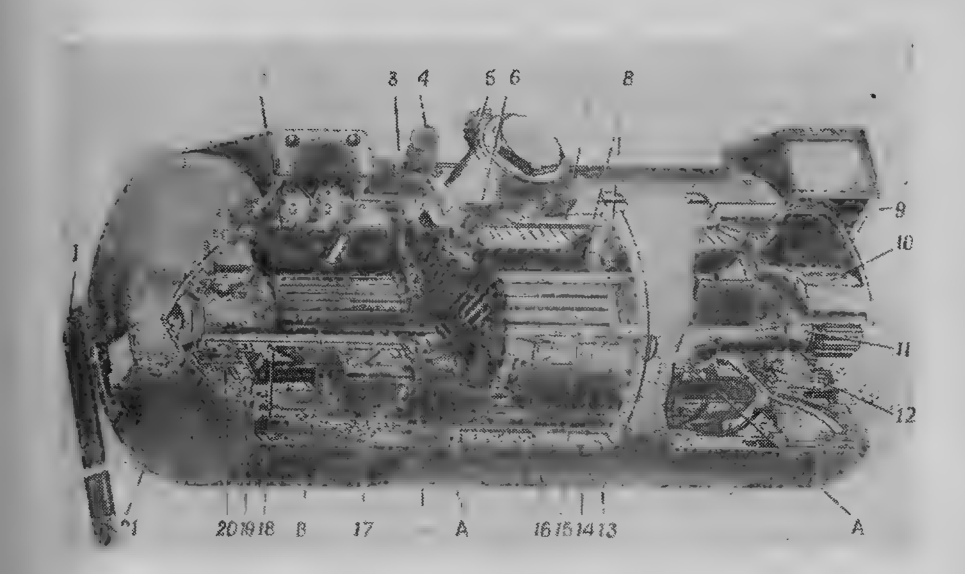


Рис. 9.9. Стартер-генератор СГ-10:

1 — шина «массы»; *2* — щеткодержатель; *3* — бандажное кольцо; *4* — выводной болт «ЯС»; *5* — герметизированный штепсельный разъем; *6* — выводной болт «ЯГ»; *7* — дополнительный полюс, *8* — катушки дополнительного полюса; *9* — крышка со стороны привода; *10* — вентилятор; *11* — вал якоря, *12* — роликовый подшипник; *13* — корпус генератора; *14* — основной полюс; *15* — якорь; *16* — катушка основного полюса, *17* — коллекторная пластина; *18* — коллекторная втулка; *19* — крышка со стороны коллектора; *20* — шарикоподшипник; *21* — кожух; *А*, *Б*, *В* — сверления и каналы для прохода охлаждающего воздуха

габаритов и веса по сравнению с раздельным выполнением стартера и генератора.

В стартерном режиме работа СГ-10 обеспечивается блоком стартерного переключения БСП-1М и реле стартер-генератора РСГ-10М.

В генераторном режиме работа стартер-генератора обеспечивается реле-регулятором Р-10ТМ и фильтром радиопомех Ф-10.

Номинальная мощность стартер-генератора равна 10 *квт* при работе в генераторном режиме и 14,7 *квт* при работе в стартерном режиме. Общий вид стартер-генератора СГ-10 показан на рис. 9.9, а полная электрическая схема комплекса — на рис. 9.10.

Повышение мощности СГ-10 по сравнению с другими танковыми генераторами (Г-5; Г-6,5) получено путем увеличения размеров

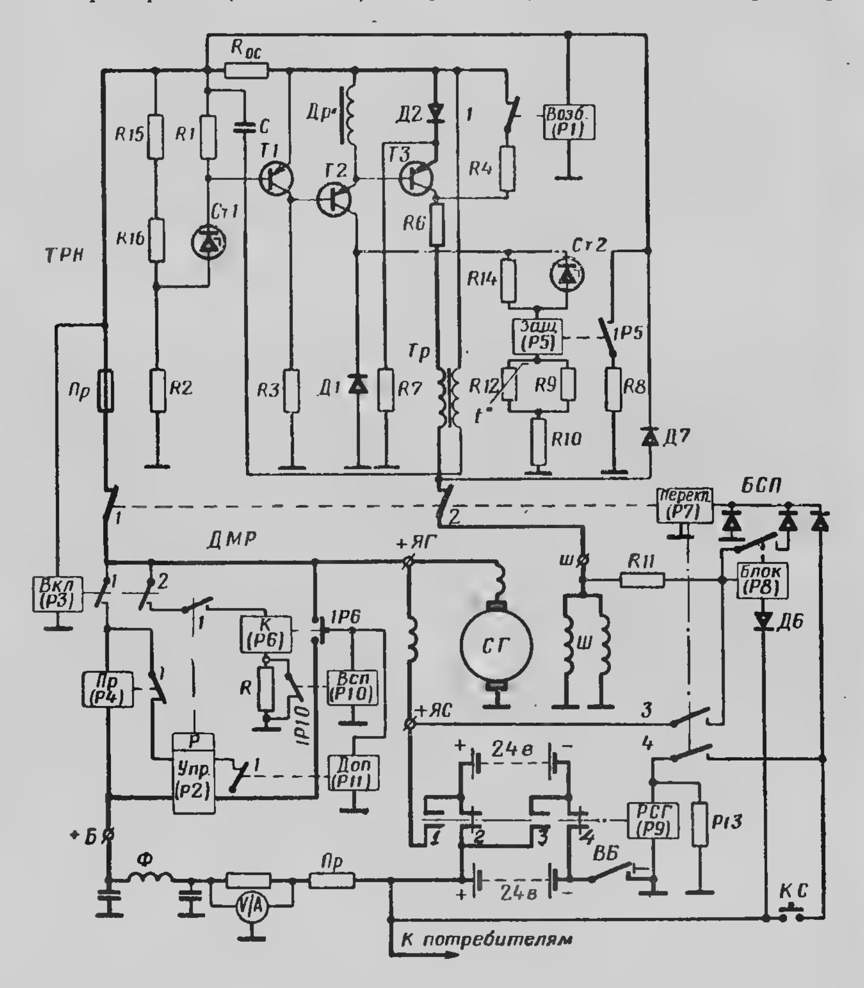


Рис. 9.10. Полная электрическая схема комплекса СГ-10

машины, повышения электромагнитных нагрузок, а также улучшения условий охлаждения.

Магнитная система стартер-генератора СГ-10 (рис. 9.11) включает четыре основных полюса, на которых размещены катушки параллельного и последовательного возбуждения, и два дополнительных полюса.

Для работы стартер-генератора СГ-10 в генераторном режиме включается только обмотка параллельного возбуждения, которая состоит из двух параллельных ветвей.

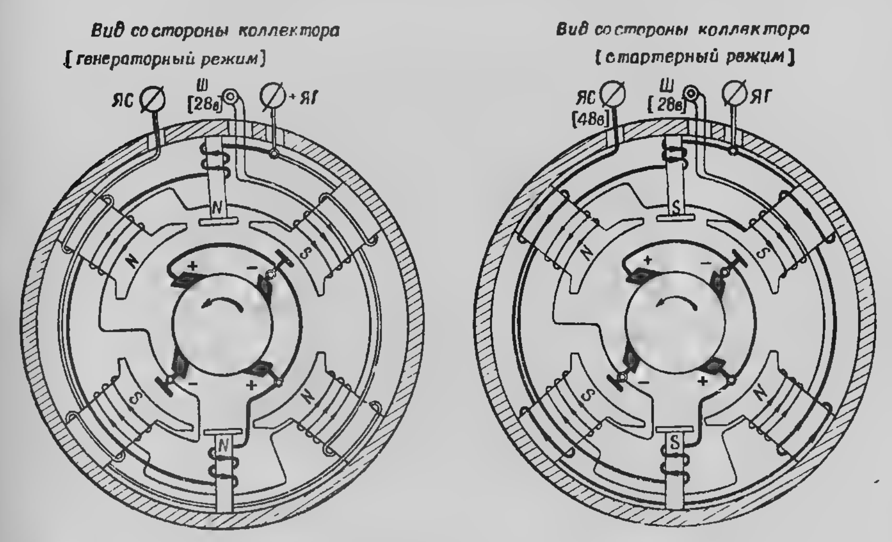


Рис. 9.11. Магнитная система стартер-генератора СГ-10

При работе стартер-генератора СГ-10 в стартерном режиме магнитный поток возбуждения создается путем включения как последовательной, так и параллельной обмоток. Благодаря этому увеличивается крутящий момент, развиваемый стартером, и ограничивается максимальная скорость вращения стартера в режиме холостого хода (после пуска двигателя). Последовательная обмотка возбуждения состоит из четырех катушек, соединенных между собой последовательно. Начало последовательной обмотки подключено к зажиму *ЯГ*, а конец — к зажиму *ЯС*, расположенным на корпусе машины.

Обмотка дополнительных полюсов соединена с обмоткой якоря последовательно.

Для уменьшения тока, потребляемого стартер-генератором СГ-10 в стартерном режиме, и получения необходимой мощности стартер-генератор СГ-10 питается напряжением 48 *в* от четырех аккумуляторных батарей 12-СТ-70М, соединенных параллельно-последовательно.

Блок стартерного переключения БСП-1М предназначен:

— для переключений, обеспечивающих стартерный режим работы стартер-генератора СГ-10 при нажатии на кнопку стартера;

— для отключения регулятора напряжения на период стартерного режима работы стартер-генератора;

— для переключений, обеспечивающих генераторный режим работы стартер-генератора при опускании кнопки стартера.

Общий вид блока стартерного переключения БСП-1М показан на рис. 9.12, а его электрическая схема — на рис. 9.10.

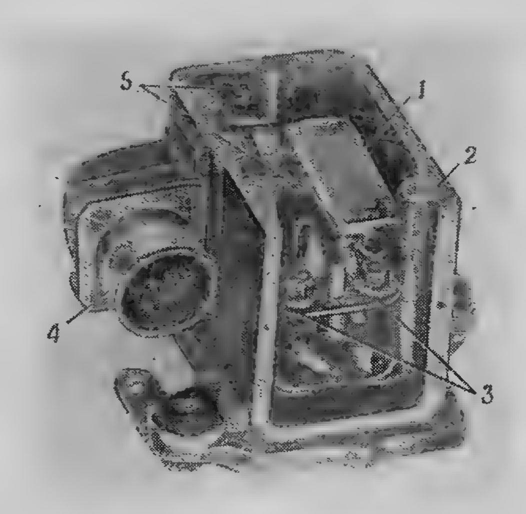


Рис. 9.12. Блок стартерного переключения БСП-1М:

1 — переключающее реле; *2* — корпус; *3* — диоды; *4* — штепсельный разъем; *5* — сопротивления R11 и R13

В блоке стартерного переключения размещены следующие элементы:

— переключающее реле $P_{пр}$ (Р7);

— блокировочные реле $P_{бл}$ (Р8);

— сопротивления R11 и R13;

— полупроводниковые диоды Д3, Д4, Д5, Д6 и Д7.

Переключающее реле Р7 предназначено для отключения регулятора напряжения от СГ-10 на период стартерного режима его работы, а также для включения реле Р9 стартер-генератора РСГ. Обмотка переключающего реле Р7 при нажатой кнопке стартера КС подключается на напряжение аккумуляторных батарей (24 *в*) через диод Д5. Реле имеет два нормально замкнутых (1 и 2) и два нормально разомкнутых (3 и 4) контакта. Контактами 1 и 2 регулятор напряжения подключается соответственно к зажимам *ЯГ* и *Ш* стартер-генератора. Контакты 3 подключают через гасящее сопротивление R11 параллельную обмотку возбуждения к аккумуляторным батареям (переключенным на 48 *в*), а также блокировочное реле Р8 на разность напряжений 48 и 24 *в*. Контакты 4 включают реле стартер-генератора РСГ (Р9).

Блокировочное реле Р8 предназначено для удержания переключающего реле Р7 во включенном состоянии до тех пор, пока аккумуляторные батареи не будут вновь переключены с 48 на 24 *в*.

Диоды Д3, Д5 и Д6 являются разделительными диодами. Диод Д4 и сопротивление R13 являются разрядными сопротивлениями для э. д. с. самоиндукции соответственно переключающего реле и реле стартер-генератора РСГ.

Диод Д7, электрически включенный в цепь регулятора напряжения, предназначен для защиты транзисторов регулятора напряжения от э. д. с. самоиндукции обмотки якоря и э. д. с. взаимоиндукции параллельной обмотки возбуждения СГ-10.

Реле стартер-генератора РСГ предназначено для переключения аккумуляторных батарей с 24 на 48 *в* на период стартерного режима работы СГ-10.

Общий вид РСГ показан на рис. 9.13, а его электрическая схема — на рис. 9.10.

Это реле, как указывалось выше, включается контактами 4 переключающего реле при нажатии на кнопку стартера КС.

Нормально замкнутые контакты 2 и 4 этого реле обеспечивают параллельное соединение аккумуляторных батарей, а нормально разомкнутые контакты 1 и 3 после срабатывания реле переключают батареи с параллельного соединения на последовательное.

Реле-регулятор Р-10М по устройству и электрической схеме аналогичен рассмотренному ранее реле-регулятору Р-10ТМ.

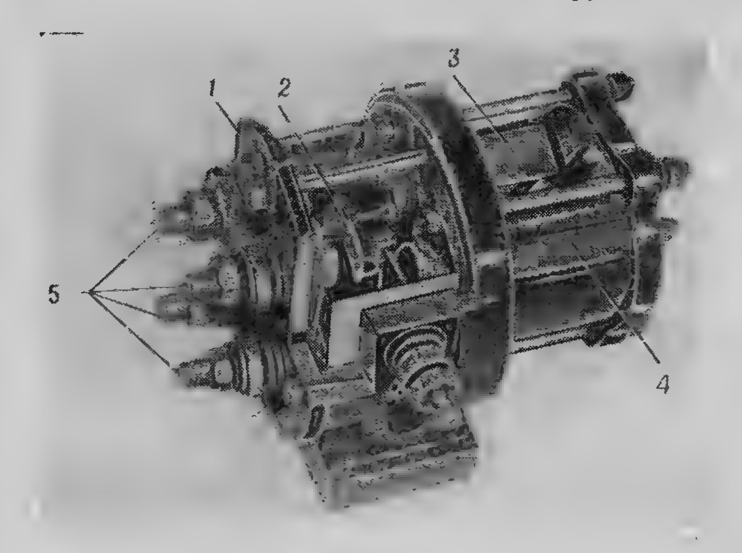


Рис. 9.13. Реле стартер-генератора РСГ-10М:

1 — корпус; *2* — суппорт с контактами; *3* — катушка электромагнита; *4* — возвратная пружина; *5* — выводные болты

Стартерный режим работы СГ-10

При нажатии на кнопку стартера КС (рис. 9.10) срабатывает переключающее реле Р7. Контакты 1 и 2 этого реле отключают регулятор напряжения от СГ-10 на период пуска двигателя; контакты 3 включают параллельную обмотку возбуждения (через гасящее сопротивление R11) и блокировочное реле Р8; контакты 4 включают реле Р9 стартер-генератора РСГ.

Реле стартер-генератора срабатывает и размыканием контактов 2, 4, а также замыканием контактов 1, 3 переключает аккумуляторные батареи с параллельного на последовательное соединение (с 24 на 48 *в*).

Через замкнутые контакты 1 реле стартер-генератора напряжение 48 *в* подается на последовательную обмотку и якорь СГ-10 непосредственно, а через замкнутые контакты 3 переключающего реле и гасящее сопротивление R11 — на параллельную обмотку возбуждения СГ-10.

Все перечисленные переключения обеспечивают работу СГ-10 в стартерном режиме.

При этом реле Р8 блокировки оказывается включенным через диод Д6 на разность напряжений 48 и 24 *в*; реле блокировки срабатывает и своими контактами через диод Д3 включает переключающее реле Р7 на напряжение 48 *в*.

После отпускания кнопки стартера вначале разрывается цепь реле стартер-генератора РСГ. Однако переключающее реле Р7 остается включенным, а регулятор напряжения отключенным от СГ-10 до тех пор, пока контакты 2 и 4 реле стартер-генератора не вернутся в исходное положение и вновь не переключат батареи на 24 *в*.

Когда контакты 1 и 3 реле стартер-генератора разомкнутся, разорвется цепь реле Р8 блокировки, его контакты разомкнутся и переключающее реле Р7 обесточится. При этом замкнутся контакты 1 и 2 переключающего реле и регулятор напряжения будет подключен к СГ-10.

Привод к стартер-генератору СГ-10 осуществляется центробежной храповиковой муфтой (рис. 9.3).

Для того чтобы исключить динамические нагрузки на кулачки при трогании стартера с места и обеспечить надежную работу муфты, необходимо вначале выбрать люфты между кулачками и шестерней муфты, а затем переключить батареи с 24 на 48 *в*. Эту задачу выполняет пусковое устройство стартера ПУС-10, схема которого представлена на рис. 9.14.

Пусковое устройство обеспечивает задержку (на 0,4—0,8 *сек*) включения реле стартер-генератора и задержку переключения батарей с 24 на 48 *в*.

Основными элементами ПУС-10 являются полупроводниковое реле времени (транзисторы Т1, Т2, управляемый вентиль Д1 и конденсаторы С1, С3 и С4) и два контактора К2 и К3.

Схема работает следующим образом. При нажатии на кнопку

стартера КС включается блок стартерного переключения БСП, отключается регулятор напряжения (как это было рассмотрено выше) и дополнительно включается контактор К2. При срабатывании контактора К2 напряжение 24 *в* подводится непосредственно к реле времени и через гасящее сопротивление R6 — к стартер-генератору. Стартер-генератор страгивается с места, благодаря чему выбирается люфт в храповиковой муфте. Одновременно начинает работать реле времени.

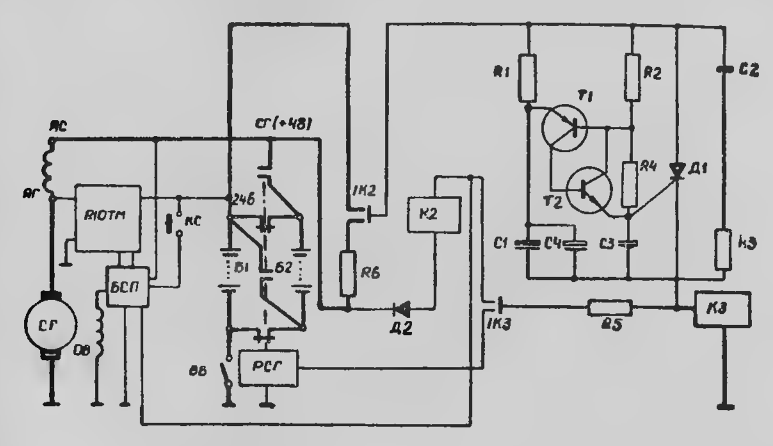


Рис. 9.14. Принципиальная электрическая схема пускового устройства стартера ПУС-10

При протекании тока через сопротивления R1, R2 и R4 на них создается падение напряжения, запирающее транзисторы Т1 и Т2. По мере заряда конденсатора С1 напряжение на нем повышается до величины, при которой отпираются транзисторы Т1 и Т2, благодаря чему подается отпирающий сигнал на управляемый вентиль Д1. Вентиль открывается и включает контактор К3 через 0,4—0,8 *сек* после нажатия на кнопку КС.

Контактор К3 включает реле РСГ, которое переключает батареи с 24 на 48 *в*.

При переключении батарей на 48 *в* обесточивается контактор К2, его контакты 1К2 размыкаются, отключая реле времени, и схема приходит в исходное состояние.

При следующих пусках рассмотренные процессы повторяются.

Генераторный режим работы СГ-10

После пуска двигателя стартер-генератор СГ-10 работает в генераторном режиме. В этом случае параллельную работу стартер-генератора СГ-10 с аккумуляторными батареями обеспечивает унифицированный танковый реле-регулятор Р-10ТМ.

Глава 10

ПРИБОРЫ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ

§ 10.1. НАЗНАЧЕНИЕ, ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРИБОРОВ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ И ПРИНЦИП ИХ ДЕЙСТВИЯ

Приборы ночного видения предназначены для наблюдения в ночных условиях. Принцип действия приборов ночного видения основан на применении инфракрасных лучей с последующим преобразованием инфракрасного (невидимого) изображения в изображение, видимое непосредственно глазом. Поэтому, чтобы наблюдать в прибор ночного видения тот или иной предмет, последний должен либо излучать, либо отражать инфракрасные лучи.

По принципу действия и используемому излучению приборы ночного видения можно подразделить на три основные группы:

— приборы, работающие с искусственной подсветкой;

— приборы, работающие за счет естественного ночного света;

— приборы, работающие за счет излучений, испускаемых самими объектами.

Наибольшее распространение получили приборы первой группы.

Известно, что тела, имеющие температуру выше 500° абс., излучают инфракрасные лучи в достаточном количестве. Однако на практике обычно приходится наблюдать объекты, температура которых значительно ниже. Следовательно, для того чтобы увидеть в прибор такие объекты, их необходимо облучать инфракрасными лучами. Для этой цели служит источник инфракрасных лучей — о с в е т и т е л ь.

Однако отраженные объектами инфракрасные лучи не могут восприниматься непосредственно глазом. Поэтому для преобразования инфракрасных лучей в видимое глазом изображение служит второй элемент комплекта прибора ночного видения — п р и б о р н а б л ю д е н и я, одним из основных элементов которого является электронно-оптический преобразователь.

Прибор наблюдения в свою очередь может работать только в том случае, если к его электронно-оптическому преобразователю приложено высокое напряжение, которое вырабатывается высоковольтным блоком питания.

Таким образом, чтобы с помощью прибора ночного видения можно было наблюдать любые объекты, в его комплект должны входить: прибор наблюдения, высоковольтный блок питания и источник инфракрасных лучей (осветитель).

Рассмотрим п р и н ц и п д е й с т в и я п р и б о р а н о ч н о г о в и д е н и я, пользуясь его принципиальной схемой, показанной на рис. 10.1.

Осветитель посылает пучок инфракрасных лучей на объект наблюдения. Часть инфракрасных лучей, отраженных от объекта наблюдения, попадает на объектив прибора наблюдения, который,

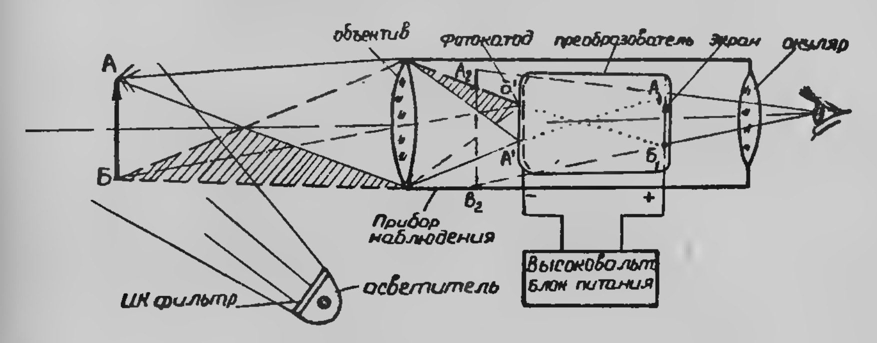


Рис. 10.1. Принципиальная схема работы прибора ночного видения, работающего с инфракрасным осветителем

изменяя направление потока инфракрасных лучей, создает перевернутое уменьшенное действительное изображение на фотокатоде[1] электронно-оптического преобразователя. Характерным для этого изображения является то, что через каждую его точку проходит количество инфракрасных лучей, пропорциональное количеству лучей, отразившихся от соответствующих точек объекта наблюдения. Это изображение не видимо непосредственно глазом. Для преобразования его в видимое изображение служит электронно-оптический преобразователь (ЭОП), представляющий собой стеклянный баллон, из которого откачан воздух. Основными элементами электронно-оптического преобразователя являются фотокатод и экран, между которыми приложено высокое напряжение (в десятки тысяч вольт), создаваемое высоковольтным блоком питания. Плюс этого напряжения подается на экран, а минус — на фотокатод.

Ф о т о к а т о д о м называют переднее стекло электронно-оптического преобразователя, на внутренней стороне которого нанесен тонкий полупрозрачный кислородно-цезиевый слой, чувствительный к инфракрасным лучам: при попадании на такой слой инфракрасных лучей он способен испускать электроны.

Э к р а н о м называется тыльное стекло электронно-оптического преобразователя, на которое с внутренней стороны нанесен

[1] Фотокатод — элемент, способный излучать электроны под действием света.

слой, обладающий способностью светиться видимым светом при бомбардировке его электронами.

Процесс преобразования невидимого изображения в изображение видимое происходит следующим образом.

Поток инфракрасных лучей, направляемый на фотокатод объективом, вызывает выход из фотокатода электронов. В электронно-оптическом преобразователе под действием высокого напряжения создается электронная линза, которая управляет потоком вышедших из фотокатода электронов. Электроны, имеющие отрицательный заряд, под действием большого положительного потенциала экрана устремляются к нему с большой энергией и, бомбардируя экран, заставляют его светиться видимым светом. На экране появляется видимое изображение. Яркость каждой точки этого изображения будет пропорциональна количеству бомбардирующих данную точку электронов.

Так, если точка A объекта (рис. 10.1) отражает много инфракрасных лучей в направлении прибора наблюдения, то в точке A^1 оптического изображения будет собрано много этих лучей, из точки A^1 фотокатода выйдет много электронов и точка A_1 на экране будет светиться ярко. Рассуждая аналогично в отношении точки $Б$ объекта, отражающей мало инфракрасных лучей, можно заключить, что соответствующая ей точка $Б_1$ на экране будет светиться слабо.

Полученное на экране видимое изображение увеличивается затем окуляром до размеров A_2B_2, удобных для наблюдения непосредственно глазом.

§ 10.2. КОНСТРУКЦИЯ ПРИБОРОВ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ

Прибор механика-водителя ТВН-2 предназначен для наблюдения за дорогой и местностью при вождении объектов бронетанковой техники ночью.

Основными элементами комплекта прибора ТВН-2 (рис. 10.2) являются прибор *1* наблюдения, высоковольтный блок *2* питания с фильтром радиопомех и инфракрасная фара.

Кроме того, в комплект прибора входят запасные части и принадлежности, основными элементами которых являются запасная головка и диафрагмирующая насадка.

Прибор наблюдения предназначен для преобразования невидимого изображения в изображение, видимое непосредственно глазом. Прибор наблюдения представляет собой бинокулярный перископ с постоянной базой. Электронно-оптическая схема прибора (рис. 10.3) состоит из верхней призмы *1*, двух объективов *2*, двух электронно-оптических преобразователей *4*, двух нижних призм *5* и двух окуляров *6*.

Верхняя призма служит для изменения на 90° направления потока инфракрасных лучей, идущих от наблюдаемого объекта. Отражающая грань этой призмы расположена под углом 45° к оптической оси прибора. За верхней призмой устанавливаются два объ-



Рис. 10.2. Комплект прибора ТВН-2:
1 — прибор наблюдения; *2* — высоковольтный блок питания

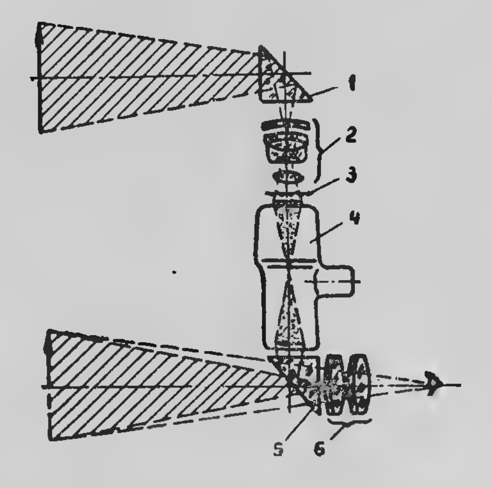


Рис. 10.3. Электронно-оптическая схема прибора наблюдения ТВН-2 (одна ветвь):
1 — верхняя призма; *2* — объектив; *3* — шторка экранирующего устройства; *4* — электронно-оптический преобразователь; *5* — нижняя призма; *6* — окуляр

ектива с фокусным расстоянием 50 *мм*, которые служат для создания невидимых инфракрасных изображений наблюдаемых объектов на фотокатодах электронно-оптических преобразователей. Оптика верхней призмы и объективов просветлена для инфракрасных лучей.

За объективами помещаются электронно-оптические преобразователи, которые служат для преобразования невидимого инфракрасного изображения в видимое. В приборах ТВН-2 применяют электронно-оптические преобразователи однократного увеличения с кислородно-цезиевым фотокатодом.

Лучи, идущие от экранов электронно-оптических преобразователей, поворачиваются двумя нижними призмами на угол 90°.

За нижними призмами располагаются два окуляра, которые служат для увеличения рассматриваемого изображения. Для устранения мешающего действия засветок от встречных фар и других интенсивных источников света перед фотокатодами преобразователей устанавливается экранирующее устройство — шторка.

Прибор наблюдения работает следующим образом. Часть инфракрасных лучей, отраженных от объекта наблюдения, попадает на верхнюю призму прибора и, отразившись от ее наклонной грани, поступает в объектив. Объектив прибора создает на фотокатоде электронно-оптического преобразователя изображение объекта в инфракрасных лучах. При этом изображение получается уменьшенным действительным обратным. При попадании электронов на фотокатод последний начинает излучать электроны. Так как плоскость оптического изображения, созданного объективом, совмещена с плоскостью фотокатода, то с внутренней стороны фотокатода образуется электронное изображение объекта наблюдения. С помощью высокого напряжения, прикладываемого к электродам преобразователя, созданное электронное изображение переносится перевернутым на экран.

В процессе переноса изображения осуществляется фокусировка электронов так, что электроны, вылетевшие из каждой точки фотокатода, собираются в соответствующие точки экрана. При этом люминофор экрана начинает светиться и на нем появляется видимое изображение объекта. Это изображение получается уже прямым по отношению к объекту. Далее лучи, идущие от экрана, направляются нижней призмой в окуляр, который создает увеличенное прямое мнимое изображение наблюдаемого объекта.

При попадании в поле зрения прибора интенсивного источника инфракрасных лучей объектив создает его изображение на фотокатоде электронно-оптического преобразователя наряду с изображением предмета, освещаемого фарой ФГ-100. Ввиду большой яркости этого источника его изображение на экране будет окружено ореольными кольцами, которые могут привести к потере видимости объектов в пределах всего поля зрения прибора. Для устранения засветки поля зрения в приборе ТВН-2 перед фотокатодами электронно-оптических преобразователей следует вводить непрозрачную шторку так, чтобы она перекрывала те части фото-

катодов, на которые проектируются изображения мешающего источника (точка *а* на рис. 10.4). При этом шторка экранирующего устройства уменьшает поле зрения по вертикали, однако механик-водитель все же может наблюдать дорогу или местность непосредственно перед машиной.

Конструктивно экранирующее устройство выполнено так, что шторка перекрывает поле зрения прибора сверху вниз. Это позволяет устранить засветки в верхней части поля зрения и сохраняет возможность наблюдения объектов нижней части поля зрения. Одновременно экранирующее устройство предохраняет электронно-оптический преобразователь при неосторожном включении прибора днем. Поэтому по окончании работы шторка должна быть закрыта.

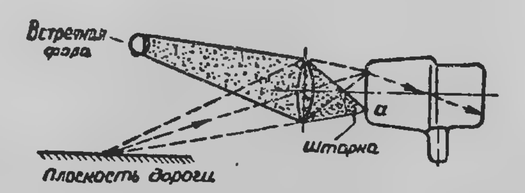


Рис. 10.4. Схема устранения мешающих точечных засветок с помощью шторки

К о н с т р у к ц и я п р и б о р а н а б л ю д е н и я. Конструктивно основные элементы прибора наблюдения (рис. 10.5) собраны в корпусе *3*, к которому сверху крепится съемная головка с размещенной в ней верхней призмой *1*. Объективы *2* электронно-оптической системы ввертываются в проставки, укрепленные в корпусе. Перед фотокатодом устанавливаются шторки *11* экранирующего устройства, управление которыми осуществляется рычагом *9*, размещенным в нижней части прибора наблюдения. Электронно-оптические преобразователи *4* размещены в средней части корпуса в рассверленных для них стаканах. В нижней части корпуса размещены две призмы *5* и ввернуты два окуляра *6*; в нижней части корпуса имеется также разъем *10* высоковольтного ввода, куда подводится питание от высоковольтного блока.

В ы с о к о в о л ь т н ы й б л о к п и т а н и я БТ-6-26/13 предназначен для преобразования низкого напряжения бортовой сети в постоянное высокое напряжение, необходимое для питания электронно-оптического преобразователя.

Принципиальная схема высоковольтного блока питания показана на рис. 10.6.

Схема состоит из трех основных частей:

— стабилизатора низкого напряжения;

— полупроводникового генератора с трансформаторным выходом;

— высоковольтного выпрямителя, собранного по схеме удвоения напряжения.

Кроме того, на входе блока включены конденсатор $C_ф$, который выполняет роль фильтра, снижающего помехи радиоприему, и диод Д1, который предохраняет схему при включении ее в бортовую сеть обратной полярностью.

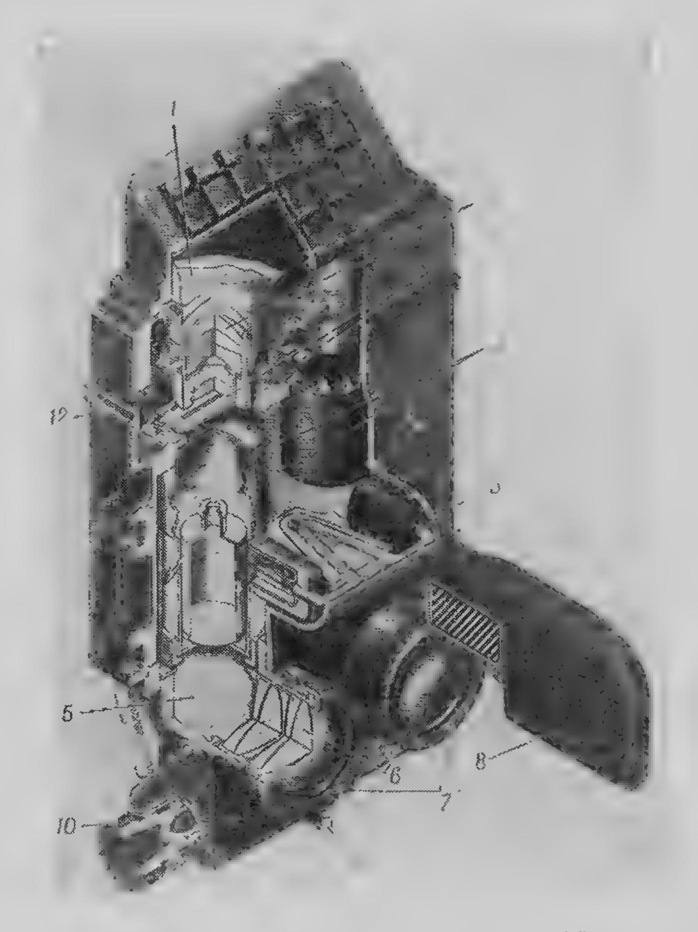


Рис. 10.5. Конструкция прибора наблюдения ТВН-2:

1 — верхняя призма; *2* — объективы; *3* — корпус прибора; *4* — электронно-оптические преобразователи; *5* — нижняя призма; *6* — окуляры; *7* — наглазники; *8* — налобник; *9* — рычаг привода шторки экранирующего устройства; *10* — разъем высоковольтного ввода; *11* — шторки экранирующего устройства; *12* — уплотнение

Основными элементами стабилизатора низкого напряжения являются стабилитроны Ст1, Ст2, транзистор Т1, конденсаторы С1, С2, С3 и сопротивления R1 и R1′.

Применение стабилизатора низкого напряжения на входе блока позволяет получить на выходе постоянное высокое напряжение,

величина которого почти не изменяется при изменении напряжения бортовой сети в пределах ±15%, т. е. от 22 до 29 *в*.

Нагрузкой для стабилизатора низкого напряжения является полупроводниковый автогенератор с положительной трансформаторной обратной связью. Основными элементами генератора являются транзистор Т2 и повышающий трансформатор Тр.

Повышающий трансформатор имеет три обмотки: первичную обмотку w_1, в цепь которой включен транзистор Т2, вторичную w_2, в которой возникает высокое напряжение, и обмотку обратной связи $w_{ОС}$, которая обеспечивает автоколебательный режим работы генератора.

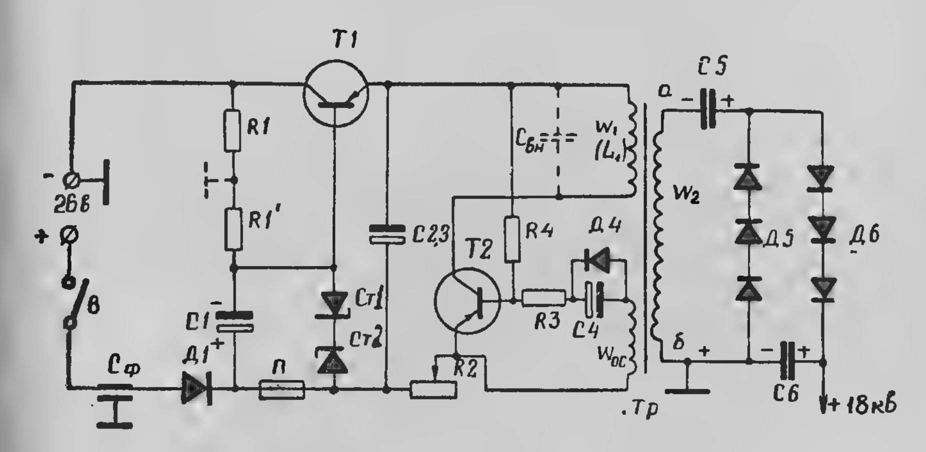


Рис. 10.6. Принципиальная электрическая схема высоковольтного блока питания БТ-6-26/13

Во вторичной обмотке w_2 индуктируется переменное высокое напряжение, равное 9000 *в*. Поэтому для получения постоянного напряжения 18 000 *в* на выходе блока применяется выпрямитель, собранный по схеме удвоения напряжения, основными элементами которой являются конденсаторы С5 и С6 и выпрямители Д5 и Д6.

Работает высоковольтный блок следующим образом. При включении выключателя *В* (рис. 10.6) начинается заряд конденсатора С1, вследствие чего растет напряжение, приложенное к стабилитрону Ст1. Когда напряжение на конденсаторе достигнет 10 *в*, стабилитрон Ст1 пробьется и напряжение на конденсаторе С1 не превысит 10 *в*. Это напряжение прикладывается к транзистору Т1 в открывающем направлении, благодаря чему транзистор Т1 открывается и начинается быстрый заряд конденсаторов С2 и С3. Конденсаторы С2 и С3 также заряжаются до напряжения 10 *в*, и это напряжение прикладывается к транзистору Т2 в отпирающем направлении. При этом в цепи первичной обмотки w_1 начинает возрастать ток и в контуре, состоящем из индуктивности L_1 и вносимой емкости $C_{вн}$, возникают колебания. Для того чтобы эти

колебания не затухали, в цепь эмиттер — база транзистора Т2 включена обмотка обратной связи $w_{ос}$. Под действием э. д. с. взаимоиндукции, возникающей в этой обмотке, в цепи эмиттер — база транзистора Т2 возникает пульсирующий ток, в результате чего в цепи эмиттер — коллектор также возникает пульсирующий ток, переменная составляющая которого поддерживает колебания в контуре L_1, $C_{вн}$.

Если бы последовательно с обмоткой обратной связи $w_{ос}$ не был включен конденсатор С4, то генератор работал непрерывно и транзистор Т2 из-за перегрева выходил бы из строя.

Для обеспечения прерывистой работы генератора служит конденсатор С4. Постоянная составляющая пульсирующего тока в цепи эмиттер — база постепенно заряжает этот конденсатор. Напряжение с конденсатора С4 подается на триод Т2 в запирающем направлении: «+» на базу, а «—» на эмиттер. Когда конденсатор зарядится, транзистор Т2 закроется, работа генератора прекратится и наступит пауза. Пауза будет длиться до тех пор, пока конденсатор С4 не разрядится. После разряда конденсатора С4 транзистор Т2 вновь откроется и цикл работы генератора повторится. Во время работы генератора во вторичной обмотке трансформатора w_2 возникает переменное высокое напряжение 9000 *в*.

В один полупериод заряжается конденсатор С5 (через диоды Д5) до 9000 *в*; в другой полупериод конденсатор С5, последовательно соединенный с обмоткой w_2, заряжает через диоды Д6 конденсатор С6 до напряжения 18 000 *в*. Таким образом, на выходе блока возникает постоянное высокое напряжение 18 000 *в*. В том случае, если высоковольтный блок питается от сети с напряжением 13 *в*, сопротивление R1 закорочено (пунктир на рис. 10.7).

Прибор командира танка ТКН-1 предназначен для наблюдения за дорогой, местностью и машинами своего подразделения при действиях в ночных условиях.

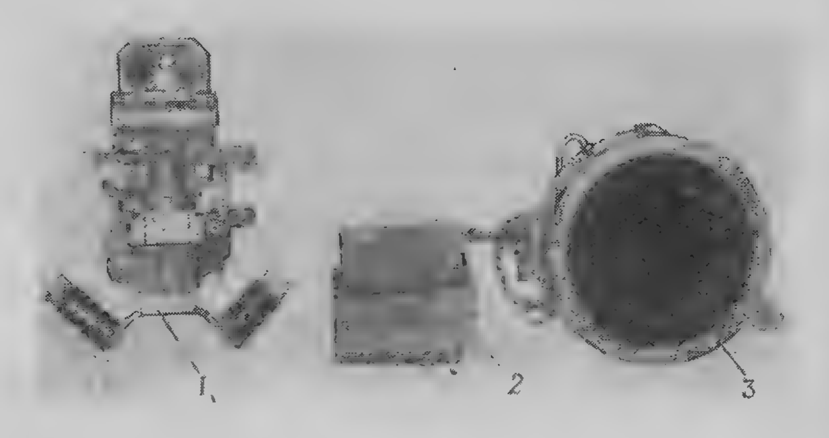


Рис. 10.7. Комплект прибора ТКН-1:
1 — прибор наблюдения; *2* — высоковольтный блок; *3* — прожектор

В комплект прибора ТКН-1 (рис. 10.7) входят прибор *1* наблюдения, высоковольтный блок *2* питания и прожектор *3*.

Прибор наблюдения ТКН-1 (рис. 10.8) представляет собой электронно-оптический перископ монокулярного типа. Он состоит из следующих основных частей: головки *1*, корпуса *6*, электронно-оптической системы, экранирующего и замкового устройств. В головке прибора размещена верхняя призма, которая изменяет направление потока инфракрасных лучей на 90°. В корпусе прибора раз-

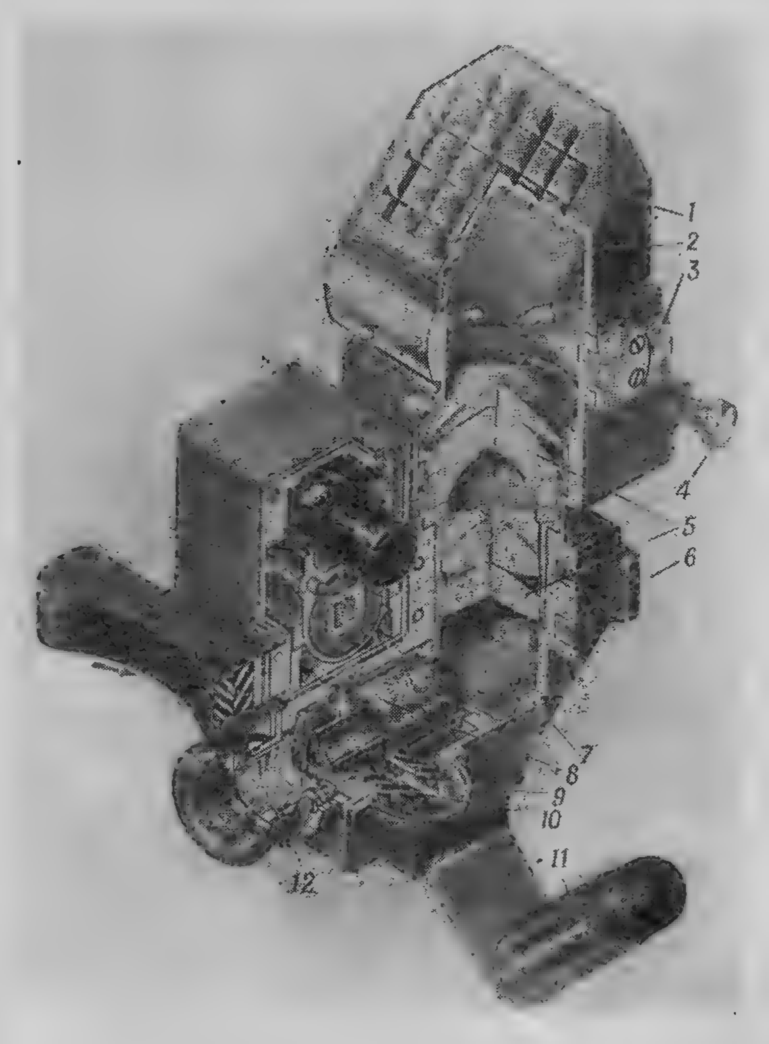


Рис. 10.8. Прибор наблюдения ТКН-1:
1 — головка; *2* — верхняя призма; *3* — проставка; *4* — рукоятка замкового механизма; *5* — объектив; *6* — корпус; *7* — нижнее зеркало; *8* — электронно-оптический преобразователь; *9* — высоковольтный провод; *10* — резиновый стаканчик; *11* — рукоятка прибора; *12* — окуляр

мещены элементы электронно-оптической системы: объектив *5*, нижнее зеркало *7*, электронно-оптический преобразователь *8* и окуляр *12*.

Назначение отдельных элементов электронно-оптической системы прибора ТКН-1 такое же, как и элементов прибора ТВН-2.

Экранирующее устройство (рис. 10.9) устраняет мешающее действие света встречных фар, ракет и др. без потери возможности наблюдения за местностью и целями. Оно состоит из шторки *3* и валика *4* с рукояткой *5*. Шторка *3* помещена между зеркалом *1* и электронно-оптическим преобразователем *2*.

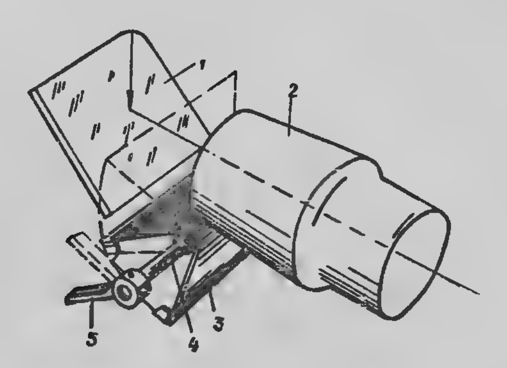


Рис. 10.9. Экранирующее устройство прибора ТКН-1:

1 — зеркало; *2* — электронно-оптический преобразователь; *3* — шторка; *4* — валик; *5* — рукоятка

Фотокатод перекрывается шторкой при постепенном перемещении рукоятки снизу вверх. На корпусе прибора нанесены надписи «Открыто» и «Закрыто», показывающие положение рукоятки, при которых шторка открывает или закрывает полностью фотокатод электронно-оптического преобразователя.

Замковое устройство обеспечивает соединение тяги прожектора с прибором наблюдения.

Высоковольтный блок питания. В комплект прибора ТКН-1 входит вибрационный высоковольтный блок питания БТ-2-26. Однако в настоящее время этот блок питания заменен полупроводниковым транзисторным блоком питания, который входит в комплект прибора ТКН-1С. По схеме и принципу действия полупроводниковый блок питания аналогичен блоку БТ-6-26, рассмотренному выше.

Прожектор ОУ-3 с инфракрасным фильтром предназначен для облучения дороги, местности и объектов инфракрасными лучами.

Ночной танковый прицел ТПН-1 предназначен для ведения прицельной стрельбы в ночное время.

В комплект прибора ТПН-1 (рис. 10.10) входят прицел *1*, высоковольтный блок *2* питания и прожектор *3*.

Прицел ТПН-1 (рис. 10.11) представляет собой электронно-оптический монокулярный перископ. Он состоит из следующих основных частей: головки, корпуса, электронно-оптической системы, механизма качания головного зеркала, механизмов выверки по высоте и по направлению и диафрагмирующего механизма.

В головке установлено головное зеркало, изменяющее направление потока инфракрасных лучей. В корпусе размещены основные элементы электронно-оптической системы: объектив, красный



Рис. 10.10. Комплект прицела ТПН-1:

1 — прицел; *2* — высоковольтный блок питания; *3* — прожектор

фильтр, диафрагма, нижнее зеркало, электронно-оптический преобразователь и окуляр. Назначение объектива, нижнего зеркала, электронно-оптического преобразователя и окуляра такое же, как и в рассмотренных выше приборах.

Красный фильтр и диафрагма служат для уменьшения количества видимого света, попадающего на фотокатод при выверке прицела в дневное время и при встречных засветках ночью. Управление диафрагмой осуществляется рукояткой, размещенной слева в нижней части корпуса прицела.

Механизм качания головного зеркала обеспечивает поворот верхнего зеркала прицела на угол, соответствующий изменению угла возвышения оружия.

Механизм выверки по высоте обеспечивает согласованное положение линии прицеливания и оси канала ствола в вертикальной плоскости.

Механизм выверки по направлению обеспечивает согласованное положение линии прицеливания и оси канала ствола в горизонтальной плоскости.

Назначение и принцип действия высоковольтного блока питания БТ-2-26 и прожектора Л-2 (Л-2Г) такие же, как и в рассмотренных выше приборах.



Рис. 10.11. Прицел ТПН-1:

1 — головное зеркало; *2* — осушительный патрон; *3* — головка; *4* — ось головного зеркала; *5* — винт выверки по высоте; *6* — нижнее зеркало; *7* — электронно-оптический преобразователь; *8* — винт выверки по направлению; *9* — окуляр; *10* — диафрагма; *11* — объектив; *12* — корпус прицела; *13* — нижнее защитное стекло головки

§ 10.3. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО ПРОВЕРКЕ ПРИБОРОВ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ

Для поддержания приборов в состоянии постоянной готовности к действию их необходимо обслуживать при техническом обслуживании всей машины. При проведении технического обслуживания наряду с общими работами по очистке прибора от пыли

и грязи и проверке крепления их отдельных элементов на машине проводятся специальные работы по определению работоспособности приборов.

Работоспособность приборов, установленных на машине, может проверяться в дневное и ночное время. Для проверки прибора в дневное время необходимо предварительно рычажок экранирующего устройства поставить в положение «Закрыто», а на головку прибора надеть диафрагмирующую насадку и закрыть в ней отверстие. Проверять работоспособность следует в определенной последовательности, оценивая работоспособность по наличию признаков исправной работы.

Для проверки работоспособности прибора днем необходимо:

— включить выключатель высоковольтного блока питания; при этом должен появиться характерный звук работающего блока; наличие этого признака свидетельствует о том, что на вход блока подается напряжение бортовой сети;

— наблюдая через окуляр прибора, убедиться в наличии слабого равномерного свечения экранов электронно-оптических преобразователей; наличие этого признака указывает, что на электронно-оптические преобразователи подается высокое напряжение;

— повернуть рычажок экранирующего устройства в положение «Открыто» и, приоткрывая диафрагму настолько, чтобы не допустить яркого свечения экранов, убедиться, что местность и объекты, находящиеся перед машиной, хорошо видны через прибор; это свидетельствует об исправности прибора наблюдения; после этого закрыть шторки, диафрагму и выключить блок питания;

— включить выключатель инфракрасного прожектора (фары), поднести к инфракрасному фильтру руку и по нагреву руки убедиться, что прожектор (фара) работает.

В ночное время работоспособность приборов следует проверять при полностью открытых шторках и снятых диафрагмирующих насадках.

При этом необходимо:

— включить выключатель высоковольтного блока питания и убедиться в наличии характерного звука работающего блока;

— наблюдая через окуляр прибора, убедиться в наличии слабого равномерного свечения экранов электронно-оптических преобразователей;

— включить инфракрасный прожектор (фару) и убедиться, что местность и объекты, находящиеся на ней, видны в пределах требуемой дальности.

После этого выключить прибор и прожектор (фару) и закрыть шторки.

Если при проверке работоспособности прибора отсутствует тот или иной признак исправной работы, то следует отыскать и устранить неисправность.

При устранении неисправности необходимо придерживаться следующего правила: прежде чем вскрывать неработающий высо-

ковольтный блок питания или прожектор (фару), убедиться, подается ли на их вход низкое напряжение. Это легко осуществить, например, с помощью переносной лампы. Если напряжение на вход элемента прибора не подается, то причиной неисправности могут быть неисправный предохранитель, обрыв проводов или некачественное соединение проводов, зажимов или штепсельных разъемов.

В том случае, когда напряжение на вход проверяемого прибора подается, а прибор все же не работает, неисправность следует искать в самом приборе.

Глава 11

ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ И СИГНАЛИЗАЦИИ. ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

§ 11.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

На всех танках, бронеобъектах и автомобилях устанавливаются контрольно-измерительные приборы, предназначенные для контроля режимов работы двигателя, его систем и системы электрооборудования:

— вольтамперметр, измеряющий ток и напряжение;

— термометры, измеряющие температуру охлаждающей жидкости в системе охлаждения и температуру масла в системе смазки двигателя и трансмиссии;

— манометры, измеряющие давление масла в системе смазки двигателя и трансмиссии;

— топливомер, измеряющий количество топлива в баках;

— тахометр, измеряющий скорость вращения коленчатого вала двигателя;

— спидометр, измеряющий скорость движения бронеобъекта (автомобиля) и пройденный путь;

— счетчик мото-часов, измеряющий общее время работы двигателя.

В объектах бронетанковой техники устанавливаются, как правило, электрические контрольно-измерительные приборы.

Из всех перечисленных контрольно-измерительных приборов только вольтамперметр измеряет электрические величины (ток и напряжение).

Остальные приборы измеряют неэлектрические величины.

Приборы, измеряющие неэлектрические величины, состоят из датчика и измерителя. В датчике преобразуются неэлектрические величины (температура, давление) в пропорциональный электрический сигнал, передаваемый по соединительным проводам в измеритель. В качестве измерителей в большинстве приборов применяются **логометры**.

Логометром называется электроизмерительный прибор, показания которого определяются отношением токов, протекающих в его катушках.

Логометр (рис. 11.1) имеет две неподвижные катушки *I* и *II*, расположенные под углом одна к другой.

Между катушками на оси закреплен подвижный постоянный магнит. На этой же оси укреплена стрелка прибора. Характерной особенностью логометра является то, что в нем нет устройства для создания противодействующего момента (нет пружины). Для приведения подвижной системы в исходное состояние при отсутствии токов в катушках применяется вспомогательный неподвижный небольшой магнит. При наличии токов в катушках этот магнит на показания прибора практически не влияет.

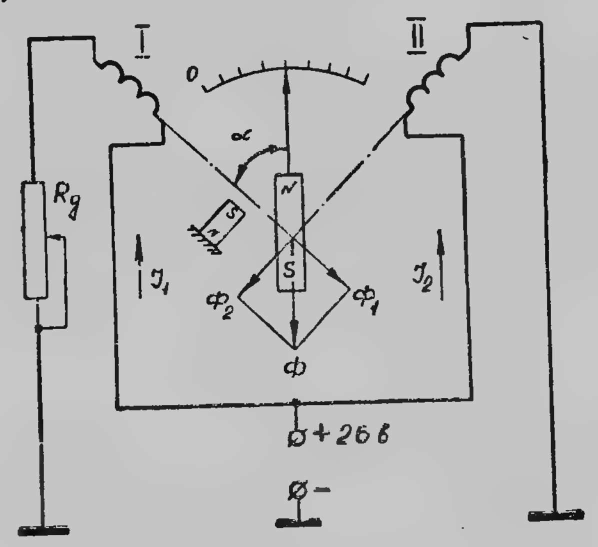


Рис. 11.1. Схема логометра

Принцип действия логометра основан на взаимодействии магнитного поля постоянного магнита с магнитным полем катушек при прохождении по ним тока. При протекании по катушкам токов I_1 и I_2 внутри логометра создаются магнитные потоки $Ф_1$ и $Ф_2$. Магнитный поток $Ф_1$ направлен по оси первой катушки, а магнитный поток $Ф_2$ — по оси второй катушки. Подвижный магнит при этом стремится занять такое положение, чтобы направление его магнитной оси совпало с направлением вектора результирующего магнитного потока $Ф$ катушек. Если направление вектора результирующего магнитного потока будет меняться в пространстве, то будет также меняться угловое положение подвижного магнита, на оси которого закреплена стрелка логометра. Угол поворота подвижного магнита со стрелкой определяется только отношением токов I_2 и I_1, протекающих в неподвижных катушках.

В цепь катушки *I* включено сопротивление датчика $R_д$, величина которого изменяется в соответствии с изменением измеряемого параметра.

Если будет изменяться сопротивление датчика $R_д$, включенного в цепь катушки *I*, то будет также изменяться соотношение токов, а следовательно, и угол поворота стрелки логометра. Если же изменится напряжение бортовой сети, то в одинаковой степени изменится величина тока I_2 и величина тока I_1, а соотношение токов сохранится неизменным.

Следовательно, изменение напряжения бортовой сети не будет влиять на показания логометра.

Когда неподвижные катушки *I* и *II* будут обесточены, вспомогательный магнит вернет подвижную систему в исходное положение, при котором стрелка логометра будет находиться на нулевом делении шкалы.

Рассмотрим более подробно принцип действия и конструкцию контрольно-измерительных приборов, установленных в объектах бронетанковой техники.

§ 11.2. ВОЛЬТАМПЕРМЕТР, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТР, МАНОМЕТР, ТОПЛИВОМЕР, ТАХОМЕТР, СЧЕТЧИК МОТО-ЧАСОВ, СПИДОМЕТР

Вольтамперметр предназначен для непрерывного измерения тока и периодического измерения напряжения (э. д. с.).

В объектах бронетанковой техники устанавливается магнитоэлектрический вольтамперметр класса 2,5.

В комплект вольтамперметра входят (рис. 11.2): измерительный прибор *3*, шунт *5*, штепсельный разъем *2* с проводами *1*.

В измерительном приборе (рис. 11.3) имеется постоянный магнит, между полюсными наконечниками которого размещена рамка с указательной стрелкой; на рамке намотана катушка.

Вольтамперметр имеет две шкалы: нижнюю — для измерения тока и верхнюю — для измерения напряжения.

В объектах бронетанковой техники устанавливаются вольтамперметры одинаковой конструкции, но отличающиеся друг от друга сопротивлением шунта и пределами измерения тока.

Данные вольтамперметров, применяемых в бронеобъектах, приведены в табл. 11.1.

Прибор постоянно включен в сеть, как амперметр с наружным шунтом. При этом катушка рамки включена параллельно шунту. В цепь рамки включено небольшое сопротивление из манганина ($R_к$) для уменьшения температурной погрешности амперметра. Шунт присоединяется к прибору специальными проводами с наконечниками, на которых имеются метки: «А», «+» и «V».

Наконечник с меткой «А» присоединяется к зажиму шунта, от которого провод идет к плюсовому зажиму аккумуляторных батарей; наконечник с меткой «+» присоединяется к зажиму шунта, от которого провод идет к генератору (к реле-регулятору). Наконечник с меткой «V» соединяется с корпусом машины.

Рис. 11.2. Общий вид вольтамперметра:

1 — соединительный провод; 2 — штепсельный разъем; 3 — измерительный прибор; 4 — крепежное кольцо; 5 — шунт; «+» и «А» — зажимы шунта; «V» — зажим вольтметра

Таблица 11.1

Вольтамперметры типа ВА-040

Обозначение приборов	Пределы измерений	Цена деления шкалы	Тип шунта
ВА-140	$\frac{10—0—30\ a}{0—30\ в}$	$\frac{2\ a}{2,5\ в}$	ША-140
ВА-240	$\frac{20—0—60\ a}{0—30\ в}$	$\frac{5\ a}{2,5\ в}$	ША-240
ВА-180	$\frac{60—0—180\ a}{0—30\ в}$	$\frac{15\ a}{2,5\ в}$	ША-180
ВА-440	$\frac{100—0—300\ a}{0—30\ в}$	$\frac{25\ a}{2,5\ в}$	ША-440
ВА-540	$\frac{100—0—500\ a}{0—30\ в}$	$\frac{50\ a}{2,5\ в}$	ША-540

Для того чтобы использовать прибор как вольтметр, необходимо нажать на кнопку «V», находящуюся на его лицевой части. При этом катушка рамки включается параллельно зажимам источников питания и прибор будет измерять напряжение бортовой сети.

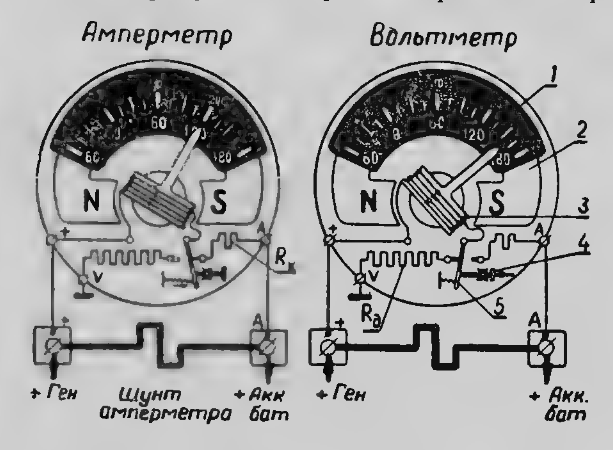


Рис. 11.3. Принципиальная схема вольтамперметра:

1 — шкала; *2* — постоянный магнит; *3* — рамка; *4* — кнопка «V»; *5* — переключатель

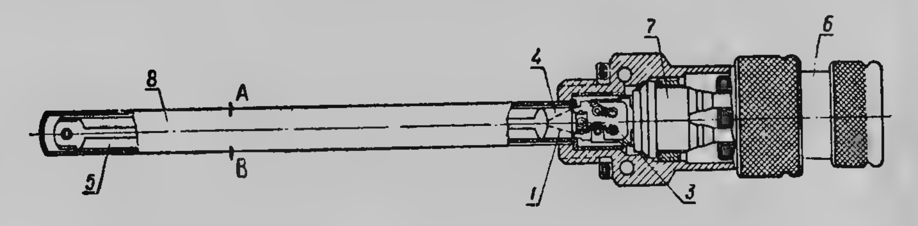
В этом случае последовательно с катушкой включается добавочное сопротивление $R_д = 4000$ *ом*. Для того чтобы снизить погрешности в показаниях вольтметра при изменении температуры катушки, добавочное сопротивление $R_д$ сделано из манганиновой проволоки.

Вольтамперметр надежно работает при температуре окружающей среды от —60° до +50° С и относительной влажности воздуха 95+3%.

Электрический термометр предназначен для дистанционного измерения температуры охлаждающей жидкости и масла в соответствующих системах двигателя и трансмиссии.

В объектах бронетанковой техники устанавливается универсальный термометр ТУЭ-48-Т, в комплект которого входят датчик и измеритель.

Датчик термометра (рис. 11.4) состоит из теплочувствительного элемента *1* и арматуры *8*. Теплочувствительный элемент представляет собой спираль из никелевой проволоки, намотанной на слюдяную пластину *2*.



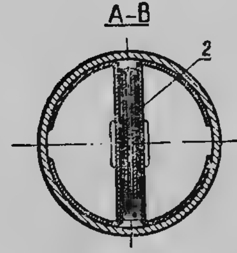


Рис. 11.4. Датчик термометра ТУЭ-48-Т:

1 — теплочувствительный элемент; *2* — слюдяные пластины; *3* — спираль из манганиновой проволоки; *4* — слюдяные прокладки; *5* — теплопроводящая пластина; *6* — штепсельный разъем; *7* — штепсельная колодка; *8* — арматура

Никелевая проволока устойчива против коррозии и имеет большой температурный коэффициент сопротивления (0,0044 *ом* на градус). Для того чтобы уменьшить температурную погрешность прибора, последовательно с никелевой спиралью включено небольшое сопротивление (спираль *3*) из манганина.

Измеритель термометра (рис. 11.5) состоит из логометра и восьми катушек *3* сопротивлений. Шкала измерителя проградуирована в градусах Цельсия и имеет пределы измерений 0—120° С. Потребляемый термометром ток при напряжении 26 *в* не превышает 100 *ма*.

Принцип действия термометра. Электрический термометр собран по схеме пятиплечевого неуравновешенного моста (рис. 11.6). Сопротивления $R1+R2$; $R3+R4$; $R5$; $R_д$; $R6+R7$ являются плечами моста, а катушки *I* и *II* логометра включены в измерительную диагональ моста. Так как мост неуравновешен, то при включении источника питания по катушкам логометра протекают токи. Сопротивления плеч моста подобраны так, что при температуре 0° С потенциал точки *A* значительно меньше потенциала точки *B* и незначительно больше потенциала точки *C*. Поэтому ток в катушке *I* логометра будет иметь наибольшее значение, а в катушке *II* — наименьшее значение. Соответственно и магнитный поток Φ_1 будет иметь наибольшее значение, а магнитный поток Φ_2 — наименьшее. При этом подвижный магнит установится вдоль вектора результирующего магнитного потока Φ и стрелка прибора покажет температуру, равную 0° С.

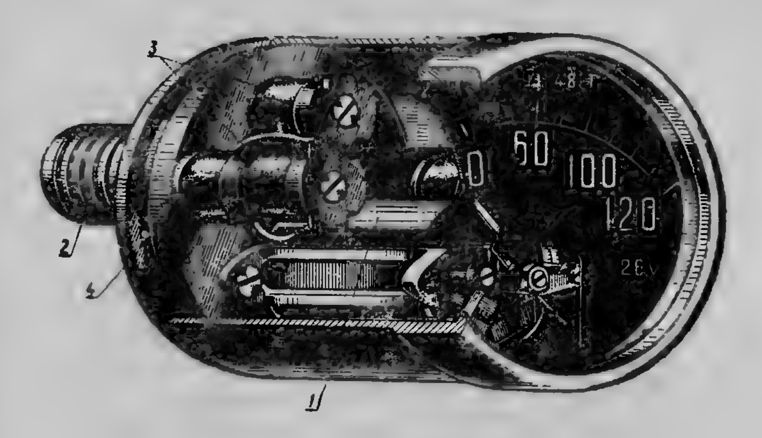


Рис. 11.5. Измеритель термометра ТУЭ-48-Т:

1 — логометр; *2* — штепсельный разъем; *3* — катушки сопротивлений; *4* — основание

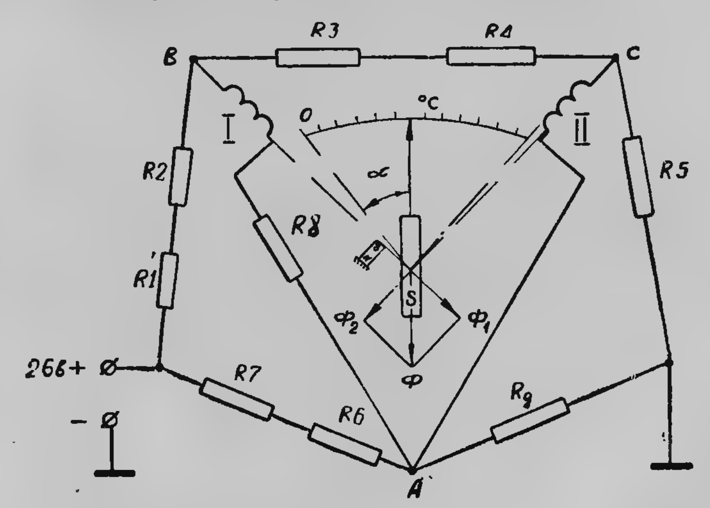


Рис. 11.6. Принципиальная электрическая схема термометра ТУЭ-48-Т

При повышении температуры сопротивление датчика увеличивается с 90,1 *ом* при 0° С до 129,8 *ом* при 100° С. При этом ток в цепи: «+26 *в*», сопротивления R7, R6, $R_д$, корпус — уменьшается, следовательно, уменьшается и падение напряжения на сопротивлениях R7 и R6, а потенциал точки *A* повышается. Это приводит к уменьшению разности потенциалов между точками *A* и *B* и к увеличению разности потенциалов между точками *A* и *C*. Вследствие этого ток в катушке *I* уменьшается, а в катушке *II* увеличивается.

Благодаря этому вектор результирующего магнитного потока, а следовательно, и постоянный магнит со стрелкой поворачиваются на угол α, соответствующий значению измеряемой температуры.

Танковые топливомеры предназначены для измерения количества топлива в основных баках танка. В танках применяются топливомеры электрические с емкостным датчиком.

Основными элементами топливомера (рис. 11.7) являются датчики-конденсаторы *1*, измерительный блок *2* и указатель *3*.

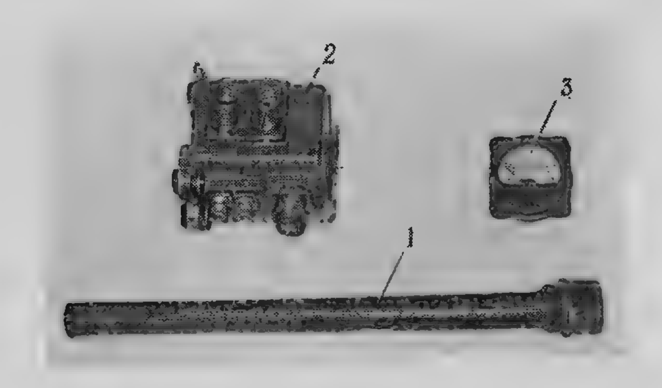


Рис. 11.7. Комплект топливомера:

1 — датчик-конденсатор; *2* — измерительный блок; *3* — указатель (миллиамперметр)

Принцип действия топливомера основан на измерении емкости конденсатора, помещенного в жидкость. Этот датчик-конденсатор $C_д$ представляет собой два металлических цилиндра, помещенных один в другой и установленных вертикально в топливном баке на изоляторах. При отсутствии топлива диэлектриком конденсатора является воздух, а при заполненном баке — топливо, имеющее значительно большую диэлектрическую проницаемость, чем воздух. Соответственно и емкость датчика-конденсатора будет минимальна при сухом баке и максимальна при полном, причем приращение емкости происходит пропорционально изменению уровня топлива.

В электрическую схему топливомера (рис. 11.8) входит генератор переменного тока высокой частоты, преобразующий напряжение бортовой сети $U_{б.с}$ в переменное напряжение $U_{\sim}$, питающее измерительный мост. В диагональ измерительного моста через вы-

прямитель *B* включен указатель — миллиамперметр, шкала которого тарирована в литрах. Измерительный мост топливомера образован двумя одинаковыми обмотками w_2' и w_2'' трансформатора, эталонным конденсатором $C_{эт}$ и конденсатором-датчиком $C_д$. Параметры измерительного моста выбраны так, что в исходном со-

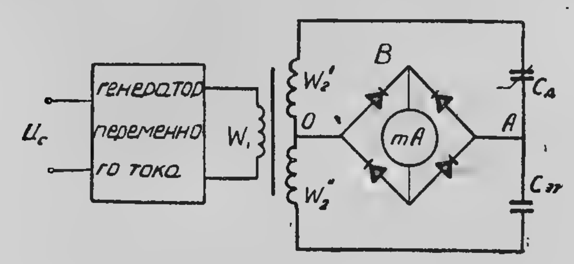


Рис. 11.8. Упрощенная схема топливомера

стоянии (пустые баки) емкости эталонного конденсатора $C_{эт}$ и датчика-конденсатора $C_д$ равны, мост сбалансирован и ток в диагонали моста отсутствует. Стрелка миллиамперметра находится на нулевом делении. По мере заполнения бака увеличивается емкость $C_д$, балансировка моста нарушается и в его диагонали возникает ток,

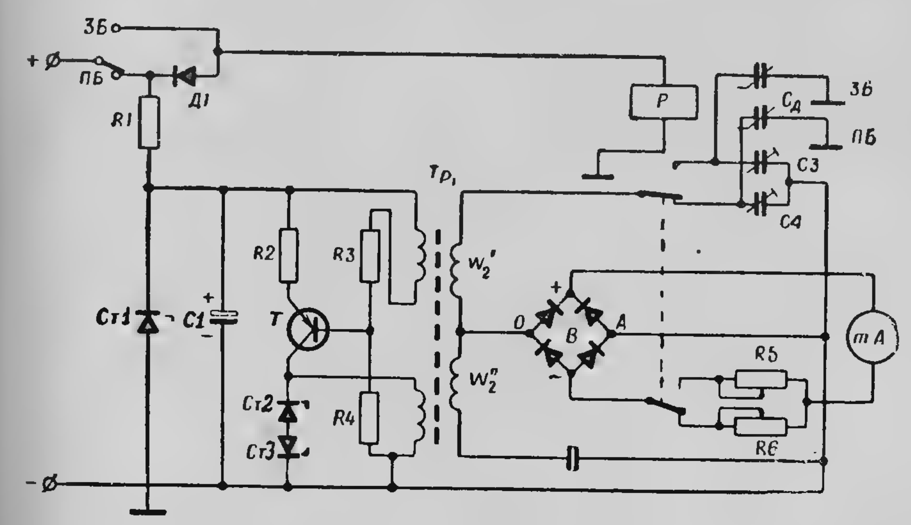


Рис. 11.9. Электрическая схема топливомера

пропорциональный количеству топлива, измеряемый миллиамперметром.

Применяемая схема топливомера (рис. 11.9) кроме перечисленных основных элементов включает сопротивление R1, стабилитрон Ст1 и конденсатор С1, обеспечивающие стабилизацию напряжения питания генератора; стабилитроны Ст2 и Ст3, ограничивающие ам-

плитуду выходного напряжения генератора; регулировочные сопротивления R5 и R6 и подстроечные конденсаторы C3 и C4 для начальной настройки схемы; реле P, переключающее измерительный мост на передние или задние группы баков («ПБ» или «ЗБ»).

Электрический манометр предназначен для дистанционного измерения давления масла в системе смазки двигателя. В объектах бронетанковой техники устанавливаются манометры ТЭМ-15.

В комплект манометра (рис. 11.10) входят датчик *1* с гибким дюритовым шлангом *3* и измеритель *2*.

Чувствительным элементом датчика является мембрана *4*. Мембрана, воспринимая давление масла, деформируется и через шток *5* и рычаг-качалку *6* обеспечивает перемещение щетки *7* по реостату *8*.

При уменьшении давления щетка *7* возвращается в исходное положение под действием пружины *9*.

Датчик манометра соединен специальной трубкой с крышкой центрального подвода масла.

Основным элементом измерителя *2* является логометр, который по устройству и принципу действия аналогичен логометру, применяемому в электрическом термометре. Шкала измерителя имеет диапазон измерения 0—15 *кгс/см²*. Потребляемый манометром ток при напряжении 26 *в* не превышает 100 *ма*.

Принцип действия электрического манометра. Электрический манометр собран по схеме четырехплечевого моста (рис. 11.11). Сопротивления R1 и R2 образуют два неизменных (по величине) плеча моста. Участки *ac* и *cв* реостата датчика $R_д$ образуют два переменных плеча, величина которых изменяется в соответствии с изменением давления масла.

Электрическая схема манометра отличается от обычных мостовых схем наличием дополнительной полудиагонали, состоящей из сопротивлений R3 и R4, введенных для уменьшения температурной погрешности логометра. С этой целью сопротивление R3 выполнено из константана. Катушки *I* и *II* логометра одним концом подсоединены к полудиагонали, а вторым — к диагонали моста.

При включении прибора в катушках логометра возникают токи, отношение между которыми зависит от величины измеряемого давления. Например, при отсутствии давления в системе смазки двигателя движок реостата датчика находится вблизи точки *a*; при этом ток в катушке *I* имеет наибольшее значение, а в катушке *II* — наименьшее. Соответственно и магнитный поток Φ_1 катушки *I* будет иметь наибольшее значение, а поток Φ_2 катушки *II* — наименьшее. Подвижный магнит установится по оси результирующего магнитного потока Φ, и стрелка логометра станет против деления 0 на шкале измерителя.

При увеличении давления движок реостата датчика приближается к точке *в*, изменяя сопротивления плеч *ac* и *cв*. В результате этого ток в катушке *I* уменьшается, а в катушке *II* — увеличивается. Соответственно и магнитный поток Φ_1 уменьшается, а Φ_2 —



Рис. 11.10. Комплект электрического манометра ТЭМ-15:

1 — датчик; *2* — измеритель; *3* — шланг; *4* — мембрана; *5* — шток; *6* — рычаг-качалка; *7* — щетка; *8* — реостат; *9* — пружина

увеличивается. При этом вектор результирующего магнитного потока поворачивается по ходу часовой стрелки. В этом же направлении поворачивается и подвижный магнит со стрелкой, указывающей, что давление в системе смазки увеличивается. Когда давление достигнет наибольшего значения, движок реостата датчика будет вблизи точки *в*; при этом ток в катушке *I* минимален, а в катушке *II* — максимален. В этом случае вектор результирующего магнитного потока отклоняется на угол, при котором стрелка прибора показывает максимальное давление в системе смазки.

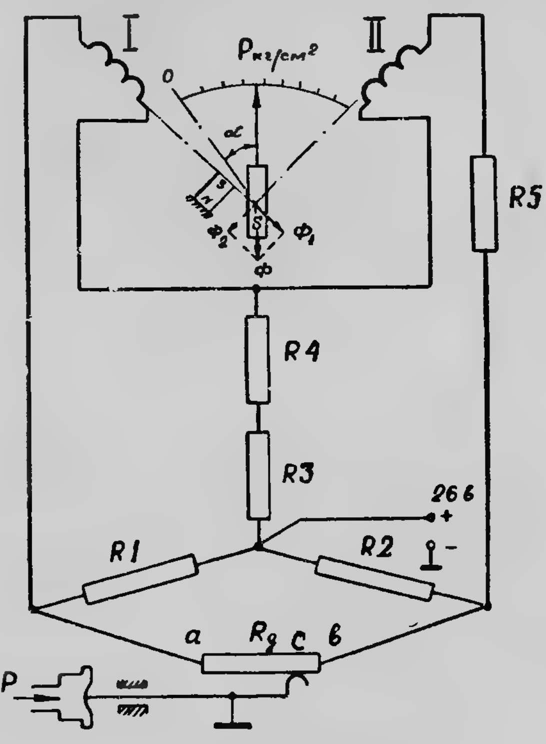


Рис. 11.11. Принципиальная электрическая схема манометра ТЭМ-15

При отключении источника питания вспомогательный неподвижный магнит вернет подвижную систему логометра в исходное положение.

Электрический тахометр предназначен для дистанционного измерения скорости вращения коленчатого вала двигателя. В танке устанавливается тахометр ТЭ-3. В комплект электрического тахометра (рис. 11.12) входят датчик и измеритель, соединенные между собой электрически.

Д а т ч и к тахометра (рис. 11.13) представляет собой трехфазный генератор переменного тока с возбуждением от постоянного магнита.

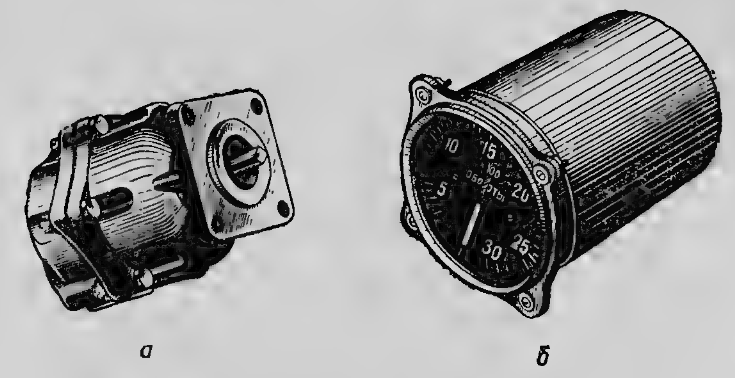


Рис. 11.12. Тахометр ТЭ-3:
а — датчик; *б* — измеритель

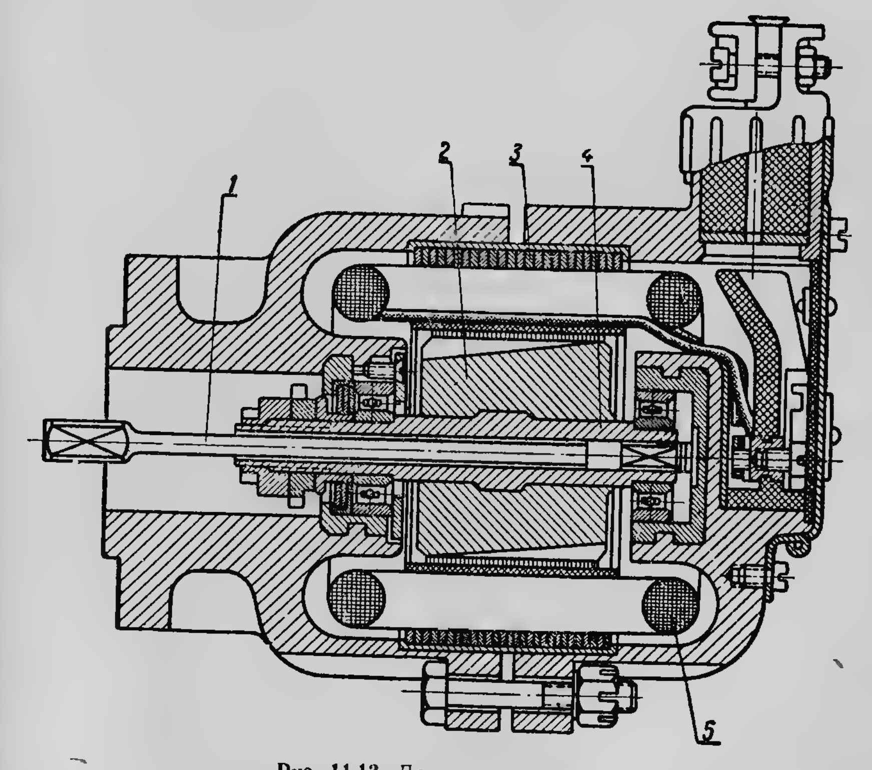


Рис. 11.13. Датчик тахометра:
1 — хвостовик; *2* — ротор генератора; *3* — статор генератора; *4* — вал генератора; *5* — обмотка статора

В статоре *3* генератора размещена трехфазная обмотка *5*, соединенная звездой.

Ротором генератора является четырехполюсный постоянный магнит. Ротор *2* посажен на полый вал *4* генератора, который через хвостовик *1* и механизм передач получает вращение от коленчатого вала двигателя.

Измеритель тахометра (рис. 11.14) состоит из синхронного трехфазного электродвигателя с диском асинхронного пуска и асинхронной электрической муфты с постоянными магнитами. В статоре *9* электродвигателя размещена трехфазная обмотка, соединенная звездой.

Ротор электродвигателя состоит из двух постоянных крестовидных магнитов *2*, укрепленных на втулке *1*, свободно посаженной на вал *12*, и дополнительного магнита *10*. На втулке *1* закреплен также металлический диск *11* для асинхронного пуска двигателя. Втулка *1* соединена с валом *12* спиральной пружиной *8*. На выступающем конце вала электродвигателя жестко закреплены постоянные магниты *4* асинхронной муфты. Диск *3* асинхронной муфты жестко связан с осью, на которой также закреплена стрелка *6* измерителя и диск *7* демпфера.

Принцип действия электрического тахометра. При работающем двигателе вращение от коленчатого вала через механизм передач передается ротору трехфазного генератора-датчика (рис. 11.15). Ротор *1* генератора вращается с угловой скоростью, пропорциональной скорости вращения коленчатого вала двигателя. В обмотках статора индуктируется э. д. с., частота которой пропорциональна скорости вращения ротора, т. е. скорости вращения коленчатого вала двигателя.

Обмотка статора генератора соединена с обмоткой *4* статора синхронного двигателя, поэтому в обмотке статора синхронного двигателя протекают фазные токи, создающие вращающийся магнитный поток. Угловая скорость вращения магнитного потока статора синхронного двигателя пропорциональна скорости вращения коленчатого вала двигателя.

Так как скорость вращения коленчатого вала возрастает очень быстро, то в момент пуска танкового двигателя ротор *3* синхронного электродвигателя, обладающий инерционностью, будет отставать от быстро вращающегося магнитного потока статора. Этот недостаток устраняется диском *5*, обеспечивающим асинхронный пуск синхронного электродвигателя. При быстром возрастании скорости вращения коленчатого вала вращающийся магнитный поток статора электродвигателя, пересекая диск *5*, вызывает появление в нем вихревых токов. Создаваемый этими токами магнитный поток взаимодействует с вращающимся магнитным потоком, благодаря чему к диску будет приложен момент и диск *5* с ротором *3* электродвигателя начнут вращаться. Когда скорость вращения увеличится и ротор электродвигателя начнет вращаться синхронно с магнитным потоком, в диске *5* токи не будут индуктиро-

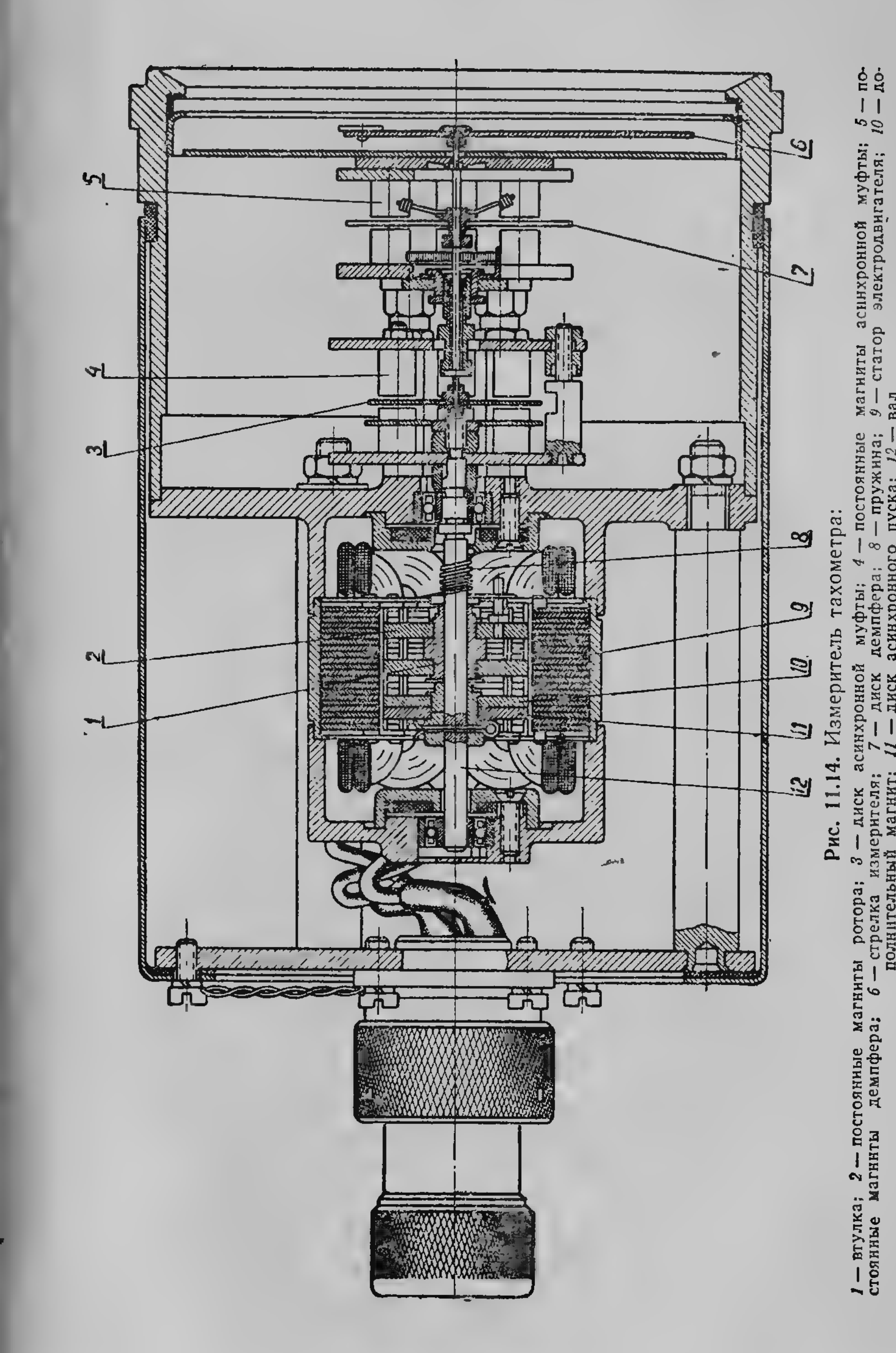


Рис. 11.14. Измеритель тахометра:

1 — втулка; *2* — постоянные магниты ротора; *3* — диск асинхронной муфты; *4* — постоянные магниты асинхронной муфты; *5* — постоянные магниты демпфера; *6* — стрелка измерителя; *7* — диск демпфера; *8* — пружина; *9* — статор электродвигателя; *10* — дополнительный магнит; *11* — диск асинхронного пуска; *12* — вал

ваться. Таким образом, вал синхронного двигателя будет вращаться со скоростью, пропорциональной скорости вращения коленчатого вала двигателя.

На валу синхронного двигателя помещен постоянный магнит *6* асинхронной муфты. Магнитный поток этого магнита, вращаясь со скоростью вращения муфты, будет пересекать диск *7* асинхронной

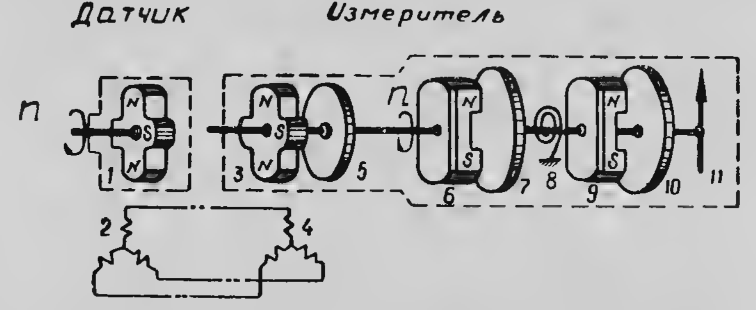


Рис. 11.15. Принципиальная схема электрического тахометра ТЭ-3:

1 — ротор генератора; *2* — обмотка статора генератора; *3* — ротор синхронного двигателя; *4* — обмотка статора синхронного двигателя; *5* — диск асинхронного пуска; *6* — постоянный магнит асинхронной муфты; *7* — диск асинхронной муфты; *8* — противодействующая пружина; *9* — магнит демпфера; *10* — диск демпфера; *11* — стрелка тахометра

муфты. В диске *7* индуктируются вихревые токи. Эти токи, взаимодействуя с вращающимся магнитным потоком постоянного магнита *6*, создадут вращающий момент, приложенный к диску. Этот момент будет пропорционален скорости вращения коленчатого вала двигателя:

$$M_{вр} = kn_{дв},$$

где $n_{дв}$ — скорость вращения коленчатого вала двигателя.

Под действием этого момента диск *7* асинхронной муфты и находящаяся на одной оси с ним стрелка *11* тахометра повернутся. При этом пружина *8* создаст уравновешивающий момент:

$$M_{пр} = C\alpha,$$

где C — жесткость пружины;

α — угол поворота стрелки, равный углу закручивания пружины.

Из равенств моментов $M_{вр} = M_{пр}$ находим, что

$$kn_{дв} = C\alpha, \text{ откуда } \alpha = \frac{k}{C} n_{дв}.$$

Из последней формулы видно, что угол поворота стрелки тахометра пропорционален скорости вращения коленчатого вала двигателя.

С целью быстрого гашения колебаний подвижной системы предусмотрено демпфирующее устройство, состоящее из неподвижного

постоянного магнита *9* и диска *10*, жестко связанного с той же осью, на которой крепится стрелка. При колебаниях подвижной системы магнитный поток магнита *9* пересекает диск *10* и индуктирует в нем вихревые токи. Эти токи взаимодействуют с магнитным потоком магнита *9*, благодаря чему подвижная система (стрелка) быстро успокаивается.

Счетчик мото-часов (рис. 11.16) предназначен для учета времени работы танкового двигателя.

В танках и бронеобъектах устанавливаются счетчики мото-часов 563-ЧП.

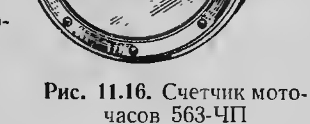


Рис. 11.16. Счетчик мото-часов 563-ЧП

Кинематическая схема счетчика мото-часов показана на рис. 11.17, а схема включения — на рис. 11.18.

Основными элементами счетчика мото-часов являются:

— пусковое и стопорное устройство;
— электрический подзавод;
— счетный механизм;
— часовой механизм.

Пусковое и стопорное устройство предназначено для включения и выключения счетчика мото-часов. Оно состоит из электромагнита *1*, с якорем которого связан рычаг *2*. На конце рычага *2* имеется тормозной штифт, который обеспечивает стопорение балансира *3*

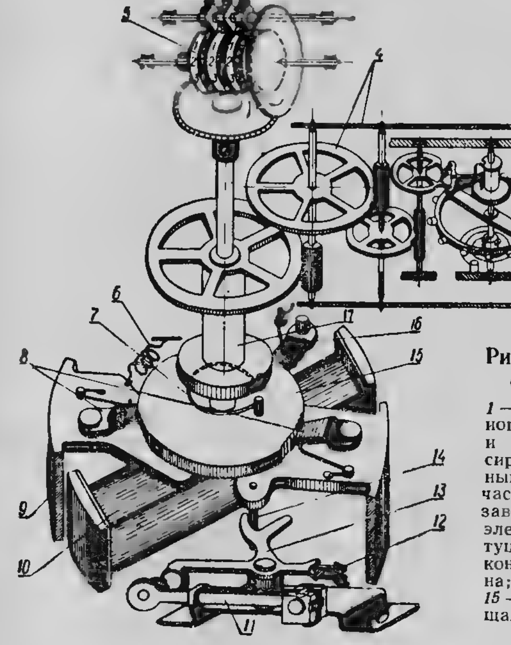


Рис. 11.17. Кинематическая схема счетчика мото-часов 563-ЧП:

1 — электромагнит пускового и стопорного устройства; *2* — рычаг пускового и стопорного устройства; *3* — балансир; *4* — часовой механизм; *5* — счетный механизм; *6* — тяговая пружина часового механизма; *7* — пружина подзавода; *8* — ведущие собачки; *9* — якорь электромагнита подзавода; *10* — катушка электромагнита подзавода; *11* — контакты; *12* — пластинчатая пружина; *13* — рычаг; *14* — штифт якоря; *15* — храповое колесо; *16* — удерживающая собачка; *17* — центральная ось часового механизма

часового механизма. Обмотка электромагнита пускового и стопорного устройства подключается через клемму $+Г$ в цепь якоря генератора. Этим обеспечивается включение и выключение счетчика мото-часов соответственно при пуске и остановке двигателя.

При пуске двигателя напряжение генератора прикладывается к обмотке электромагнита и, когда оно достигнет 8 *в*, электромагнит срабатывает. При этом якорь электромагнита с рычагом *2* при-

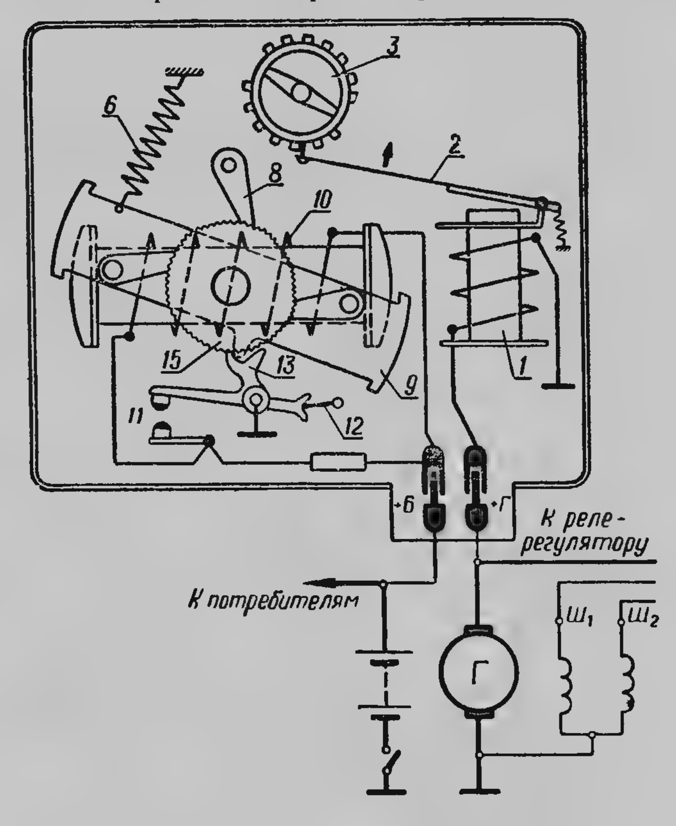


Рис. 11.18. Схема включения счетчика мото-часов 563-ЧП (Обозначение позиций то же, что на рис. 11.17)

тягивается, и тормозной штифт освобождает балансир *3* часового механизма. При остановке двигателя танка напряжение генератора становится равным нулю, обмотка электромагнита стопорного устройства обесточится и под действием пружин якорь электромагнита с рычагом *2* вернутся в исходное положение, при котором тормозной штифт застопорит балансир *3* часового механизма.

Электрический подзавод предназначен для периодического растяжения (подзаводки) тяговой пружины *6* часового механизма. Он состоит из электромагнита подзавода, контактов *11*,

храпового колеса *15*, двух ведущих собачек *8*, удерживающей собачки *16* и пружины *7* подзавода. Катушка *10* электромагнита подзавода через клемму $+Б$ подключена к плюсу аккумуляторных батарей. Этим обеспечивается периодический подзавод счетчика мото-часов при работе двигателя. Якорь *9* электромагнита подзавода связан с одним концом тяговой пружины *6* часового механизма, второй конец этой пружины крепится неподвижно. Пружина *7* подзавода одним концом соединена с храповым колесом *15*, другим — с центральной осью *17* часового механизма.

Подзавод осуществляется следующим образом. Если контакты *11* замкнуты (исходное положение), то по катушке *10* электромагнита подзавода проходит ток. Этот ток создает магнитный поток, и якорь *9* электромагнита подзавода поворачивается против хода часовой стрелки. При этом тяговая пружина *6* растягивается (заводится). Одновременно при повороте якоря *9* против хода часовой стрелки штифт *14* воздействует на вилку рычага *13*, связанного с подвижным контактом. Вследствие этого в конце хода якоря *9* контакты *11* разомкнутся, и обмотка электромагнита подзавода обесточится.

При повороте якоря *9* против хода часовой стрелки ведущие собачки *8* проскальзывают по зубьям храпового колеса *15*, которое удерживается в неподвижном положении собачкой *16*.

Якорь *9* электромагнита подзавода удерживается во взведенном состоянии стопорным устройством — стопорением балансира *3*.

Счетный механизм состоит из четырех цифровых барабанов. Первый (правый) барабан показывает десятые доли часа, следующие барабаны показывают соответственно единицы, десятки и сотни часов. Привод к счетному механизму осуществляется от центральной оси часового механизма через конические колеса.

Работа счетчика мото-часов. При пуске двигателя танка срабатывает электромагнит *1* пускового и стопорного устройства, благодаря чему балансир *3* часового механизма будет расстопорен. Предварительно растянутая тяговая пружина *6* начинает сжиматься и поворачивать якорь *9* электромагнита подзавода по ходу часовой стрелки. При этом ведущие собачки *8* поворачивают храповое колесо, а удерживающая собачка *16* проскальзывает по зубьям храпового колеса. Храповое колесо через пружину *7* поворачивает центральную ось *17* часового механизма, которая в свою очередь поворачивает барабаны счетного механизма, обеспечивающего отсчет времени работы двигателя в часах. Когда якорь *9* электромагнита подзавода, поворачиваясь под действием тяговой пружины *6* по ходу часовой стрелки, будет подходить к исходному положению, штифт *14* нажмет на вилку рычага *13*, и контакты *11* замкнутся. При этом замкнется цепь катушки *10* электромагнита подзавода и будет осуществлен очередной подзавод (растяжение пружины *6*) так, как описано выше (подзавод осуществляется через каждые 2—3 *мин* работы двигателя).

При остановке двигателя танка обесточится обмотка электромагнита пускового и стопорного устройства, благодаря чему балансир *3* часового механизма будет застопорен — счетчик моточасов будет остановлен.

Спидометр СП-106 предназначен для дистанционного измерения скорости движения машины (собственно спидометр), а также для подсчета пройденного пути. Пределы измерения скорости 0—80 *км/ч*, емкость счетчика пути 100 000 *км*.

Электрический спидометр (рис. 11.19) состоит из датчика и приемника (измерителя).

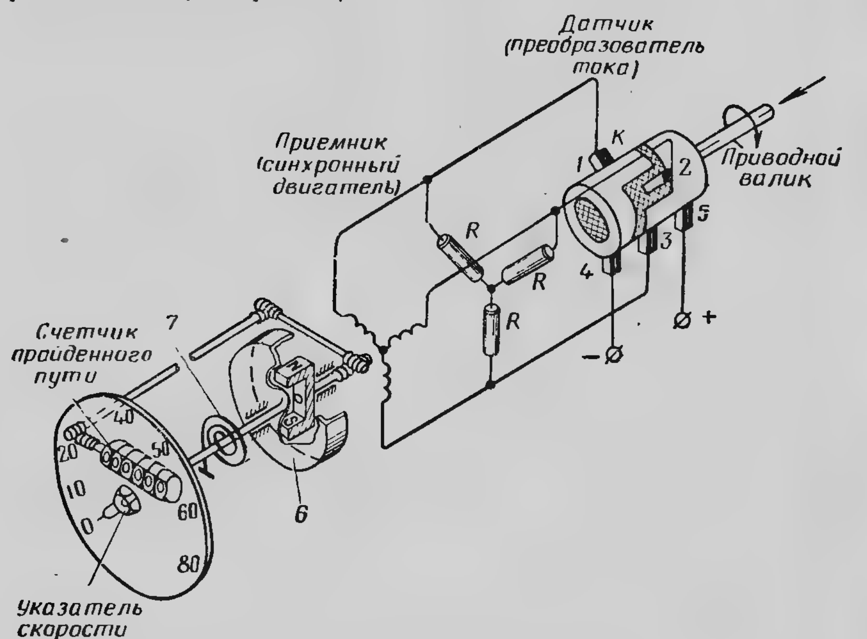


Рис. 11.19. Электрический спидометр:

1, 2 и *3* — токосъемные щетки; *4* и *5* — токоподводящие щетки; *6* — картушка; *7* — пружина

Датчик представляет собой механический коммутатор, ротор которого приводится во вращение гибким валиком от ведущего колеса. Он состоит из двух вращающихся изолированных металлических сегментов, двух токоподводящих щеток *4* и *5* и трех токосъемных щеток *1*, *2* и *3*, расположенных под углом 120°. Щетки *1*, *2* и *3* соединены с обмотками статора двигателя, установленного в приемнике. К сегментам подводится постоянный ток от бортовой сети с помощью двух щеток *4* и *5*, расположенных на крайних кольцевых участках сегментов.

При вращении ротора подведенный к нему постоянный ток преобразуется в трехфазный переменный ток, так как щетки *1*, *2* и *3* коммутатора будут поочередно присоединяться к положительному

и отрицательному зажимам источника питания. Частота переменного тока прямо пропорциональна скорости вращения ротора коммутатора. Для снижения уровня радиопомех, возникающих при работе узла, включены шунтирующие сопротивления *R*.

Приемник спидометра включает указатель спидометра (собственно спидометр) и счетный узел спидометра, измеряющий пройденный путь.

Оба прибора приемника приводятся в действие трехфазным синхронным электродвигателем, установленным в общем корпусе. Скорость вращения ротора этого двигателя пропорциональна частоте тока, поступающего к нему от датчика.

При движении машины к обмоткам статора электродвигателя, соединенным звездой, прикладывается трехфазное напряжение, в результате чего обмотка статора создает вращающийся магнитный поток; при этом ротор синхронного двигателя, представляющий собой двухполюсный постоянный магнит, будет вращаться со скоростью, пропорциональной скорости вращения ротора коммутатора.

Вращение ротора двигателя передается постоянному магниту указателя скорости, закрепленному на его валу, а через две понижающие червячные передачи — счетчику пройденного пути.

Постоянный магнит указателя скорости расположен внутри картушки *6*, которая сидит на отдельной оси и удерживается от вращения спиральной пружиной *7*.

В результате взаимодействия магнитных потоков картушки и постоянного магнита картушка увлекается в сторону вращения постоянного магнита на угол, при котором вращающий момент уравновешивается силой пружины. Величина этого угла, а следовательно, и угла поворота стрелки пропорциональна скорости движения машины. Угол поворота постоянного магнита пропорционален пути, пройденному машиной, и передается через червячные передачи к счетному узлу, который, суммируя этот угол, указывает одновременно и путь, пройденный машиной.

§ 11.3. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Для поддержания контрольно-измерительных приборов в исправном состоянии они подвергаются периодической проверке. Техническая исправность приборов проверяется как при техническом обслуживании танков, так и при постановке и снятии их с хранения. О технической исправности приборов можно судить по следующим признакам.

Тахометр. При неработающем двигателе стрелка тахометра должна находиться на нулевом делении шкалы; при изменении скорости вращения коленчатого вала двигателя стрелка должна перемещаться без заедания, а после остановки двигателя — возвращаться в исходное положение.

Термометры. При прогреве или охлаждении двигателя стрелка термометра должна перемещаться плавно, без скачков. При длительной стоянке машины (более двух суток) термометр должен показывать температуру окружающей среды.

Масляный манометр. При изменении давления масла (при работающем двигателе) стрелка манометра должна перемещаться плавно, без заедания, а после остановки двигателя — возвращаться в исходное положение. Смещение стрелки от нулевого положения при неработающем двигателе должно быть не более 0,5 *кгс/см²*.

Счетчик мото-часов. Счетчик должен работать только при работающем двигателе.

Топливомер. Для проверки необходимо включить топливомер и проверить при пустых баках положение стрелки указателя на нулевой отметке шкалы, а при полностью заправленных баках — на максимальной отметке шкалы соответствующих групп баков. Если при пустых баках и включенном топливомере стрелка указателя не становится на нулевую отметку, то отрегулировать топливомер при пустых баках, а затем и при полностью заправленных баках.

В том случае, когда кроме проверки технической исправности приборов необходимо проверить точность их показаний (при среднем и капитальном ремонте машины, при ремонте прибора), применяется специальное оборудование, на котором установлены образцовые приборы. Показания рабочих контрольно-измерительных приборов сравниваются с показаниями образцовых приборов.

§ 11.4. ПРИБОРЫ СИГНАЛИЗАЦИИ

Электрический звуковой сигнал предназначен для подачи предупредительных сигналов.

В объектах бронетанковой техники устанавливаются электрические звуковые сигналы С-58.

Сигнал (рис. 11.20) представляет собой электромагнитный прибор вибрационного типа. В корпусе *1* сигнала помещен электромагнит *12*, внутри которого находится стержень *11*. На стержне *11* закреплены якорь *2* электромагнита, мембрана *3* и резонатор *4*. Стержень *11* отжимается плоской пружиной *10*. Мембрана *3* с помощью ободка *6* крепится к корпусу сигнала. Резонатор *4* имеет возможность перемещаться относительно корпуса в осевом направлении. Обмотка электромагнита включается в бортовую сеть через зажимы на колодке, которая может перемещаться регулировочным винтом *8*. Головка этого винта находится на корпусе сигнала, снаружи.

Сигнал включается кнопкой, расположенной на распределительном щитке механика-водителя, при этом включается обмотка электромагнита. Магнитный поток электромагнита *12* притягивает якорь *2*. Вместе с якорем перемещается стержень *11*, который тянет за собой мембрану *3*, и она прогибается влево. Одновременно прогибается плоская пружина *10*, а якорь *2* нажимает на пластинку с подвижным контактом *9*, и контакты *9* и *5* размыкаются. При

этом обесточивается цепь обмотки электромагнита и под действием пружины *10* стержень *11* вместе с якорем *2* и мембраной *3* возвращается в исходное положение, при котором контакты *9* и *5* замыкаются, и весь процесс повторяется. Резонатор *4* способствует усилению звука и придает ему необходимый тембр. Для регулировки тембра звука необходимо включить сигнал и вращением регулировочного винта *8* добиться желаемого звука.

Конденсатор *13* уменьшает подгорание контактов *9* и *5* в момент их размыкания.

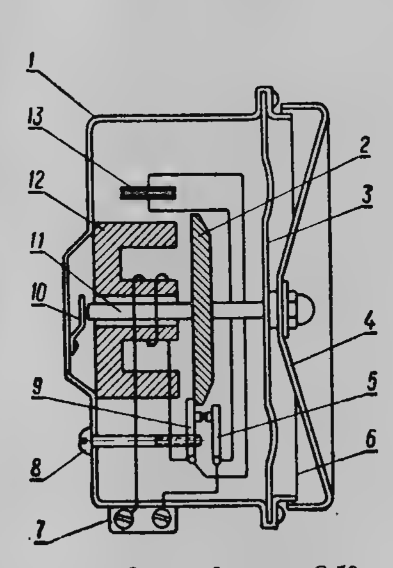


Рис. 11.20. Звуковой сигнал С-58:

1 — корпус; *2* — якорь электромагнита; *3* — мембрана; *4* — резонатор; *5* и *9* — контакты; *6* — ободок; *7* — колодка с зажимами; *8* — регулировочный винт; *10* — плоская пружина; *11* — стержень якоря; *12* — электромагнит; *13* — конденсатор

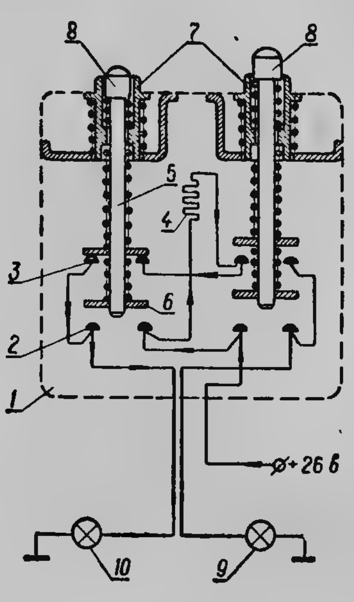


Рис. 11.21. Светосигнальиое устройство:

1 — корпус; *2* — контакты большой кнопки; *3* — контакты малой кнопки; *4* — добавочное сопротивление; *5* — стержень кнопки; *6* — контактная шайба; *7* — большие кнопки; *8* — малые кнопки; *9* и *10* — сигнальные лампы

С в е т о с и г н а л ь н о е у с т р о й с т в о предназначено для передачи команд от командира машины к механику-водителю. Оно состоит из сигнального пульта (рис. 11.21) и двух сигнальных ламп, размещенных на щитке механика-водителя.

На сигнальном пульте имеются две малые кнопки *8* и две большие кнопки *7*.

При нажатии на левую малую кнопку *8* замыкаются контакты *3* и через добавочное сопротивление *4* включается левая сигнальная лампа *10*, которая горит неполным накалом. При нажатии на большую левую кнопку *7* замыкаются контакты *2*, благодаря чему шунтируется добавочное сопротивление *4*, и сигнальная лампа *10* начинает гореть полным накалом. Включение левой или

правой сигнальной лампочки указывает механику-водителю на необходимость левого или правого поворота, а изменение накала лампы — на изменение скорости поворота или (когда ярко загораются обе лампочки) на изменение скорости движения танка.

§ 11.5. ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

Выключатель батарей (рис. 11.22) служит для включения и отключения аккумуляторных батарей. Один зажим выключателя батарей соединяется с «минусом» аккумуляторных батарей, а другой — с корпусом машины (с «массой»).

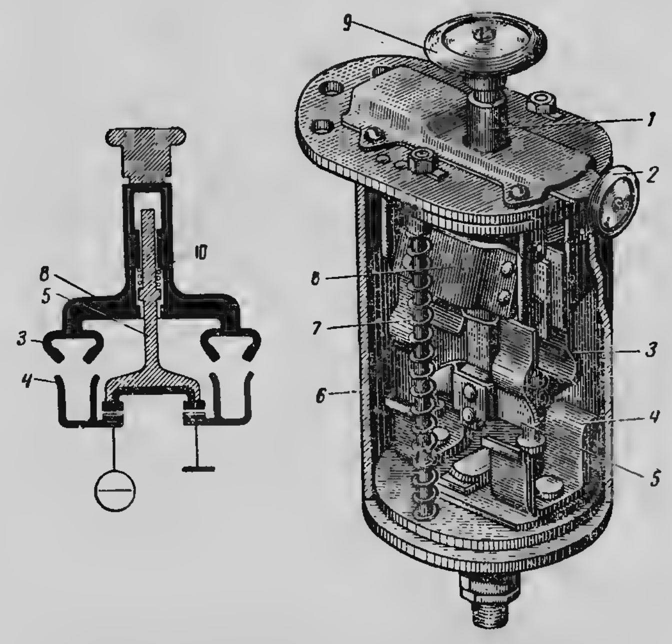


Рис. 11.22. Выключатель батарей ВБ-404:

1 — шток; *2* — защелка; *3* — главные контакты; *4* — неподвижные контакты; *5* — искрогаситель; *6* — корпус; *7* — возвратная пружина; *8* — подвижный контактный мостик; *9* — рукоятка; *10* — пружина искрогасителя

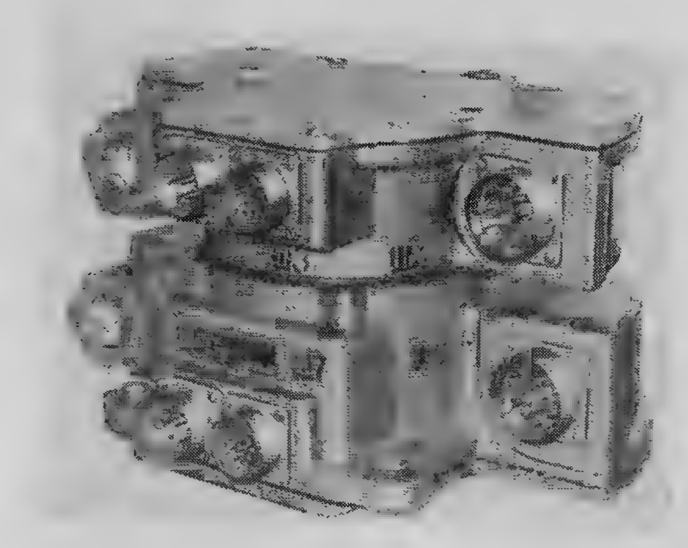
При нажатии на рукоятку *9* выключателя вначале замыкаются вспомогательные контакты искрогасителя *5*, а при дальнейшем ходе штока *1* неподвижные контакты *4* замыкаются главными контактами *3*. При этом возвратная пружина *7* и пружина *10* искрогасителя сжимаются. Когда главные контакты *3* замкнутся с неподвижными контактами *4*, защелка *2* попадет в кольцевую проточку на штоке, фиксируя включенное состояние главных контактов. При нажатии на защелку *2* шток *1* освобождается и под действием возвратной пружины *7* возвращается в исходное положение. При этом вначале размыкаются главные контакты *3*, но цепь остается замк-

нутой контактами искрогасителя *5*. При дальнейшем ходе штока размыкаются контакты искрогасителя *5* и разрывают цепь. Следовательно, искрение может происходить только на контактах искрогасителя *5*, а главные контакты разъединяются практически без искрения.

Контактная система выключателя рассчитана на ток до 1500 *а* при напряжении 24 *в*.

Вращающееся контактное устройство предназначено для передачи электрической энергии от источников, расположенных в корпусе машины, к потребителям, расположенным в башне, а также для соединения между собой аппаратов переговорного устройства.

а



б

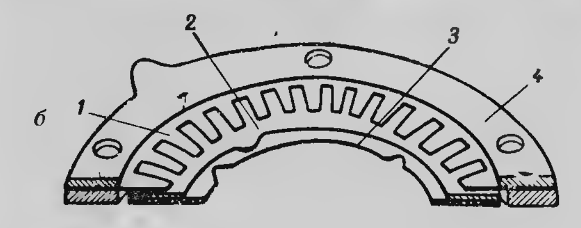


Рис. 11.23. Вращающееся контактное устройство ВКУ-330-1:

а — общий вид; *б* — токопроводящий элемент ВКУ

На рис. 11.23 показано вращающееся контактное устройство ВКУ-330-1.

Через это ВКУ могут быть соединены 33 цепи. Из них одна рассчитана на длительный ток 360 *а* с возможностью перегрузки до 500 *а* в течение 5 *мин* с интервалами между перегрузками не ме-

нее 30 *мин.* Две цепи рассчитаны на ток 30 *а* с возможностью перегрузки до 50 *а* в течение 5 *мин.*

Остальные цепи слаботочные. Они рассчитаны на ток до 5 *а*; шесть из них предназначены для передачи без искажения сигналов управления. Эти цепи экранированы специальным ферромагнитным экраном. Контактная система ВКУ-330-1 не имеет колец и щеток в обычном их исполнении. Контакт между двумя вращающимися элементами осуществляется путем многоточечного соприкосновения трущихся дисков (рис. 11.23, *б*). При этом каждый контактный вращающийся элемент выполнен упругим. Такая конструкция токопроводящих элементов ВКУ обеспечивает высокую надежность его работы. На внутренней поверхности неподвижного контактного кольца *1* имеются зубья, изогнутые в сторону подвижного кольца *2*. Оба кольца изготовлены из кадмиевой бронзы толщиной 0,1 *мм.* Подвижное кольцо наклеивается на изоляционное кольцо *3*, выполненное из гетинакса. На гетинаксовом кольце имеются три прорези, с помощью которых подвижное кольцо соединяется с ведущим валом. Ток к неподвижному кольцу подводится с помощью специальной прокладки. Токоотводящий провод припаивается к лепестку подвижного контактного кольца.

Сильноточная контактная пара выполнена аналогично, но подвижные и неподвижные кольца имеют большую толщину — 0,3 *мм.*

В ВКУ-330-1 установлены контакты сигнализации выхода пушки за габариты танка, которые замыкаются при углах поворота ±27°.

Электропроводка. В объектах бронетанковой техники применяются в основном специальные провода низкого напряжения марки ЛПРГСЭ и БПВЛЭ[1] (рис. 11.24).

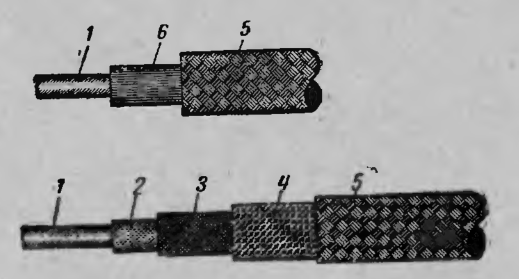


Рис. 11.24. Провода БПВЛЭ (вверху) и ЛПРГСЭ:

1 — медная жила; *2* — пряжа; *3* — вулканизированная резина; *4* — хлопчатобумажная оплетка; *5* — металлическая оплетка; *6* — полистиролвиниловая изоляция

Технические данные проводов приведены в табл. 11.2. Кроме указанных в таблице сечений проводов применяются провода сечением 95 $мм^2$, которыми соединяются аккумуляторные батареи и стартер.

Таблица 11.2

Провода типа ЛПРГСЭ и БПВЛЭ

Сечение провода, $мм^2$	Наибольший допустимый ток, *а*			
	длительный режим	кратковременный режим		
		не более 5 *мин*	не более 1 *мин*	не более 30 *сек*
1	15	20	30	45
1,5	20	25	40	60
2,5	25	30	50	75
4	30	40	60	90
6	40	60	80	120
10	60	80	120	180
16	80	100	160	240
25	100	120	200	300
35	120	160	240	360
50	160	200	320	480
70	200	240	400	600

На некоторых участках в системе электрооборудования, где число проводов достаточно велико, для облегчения монтажа применяются специальные кабели. В танке они монтируются в основном с помощью штепсельных разъемов типа ШР (рис. 11.25).

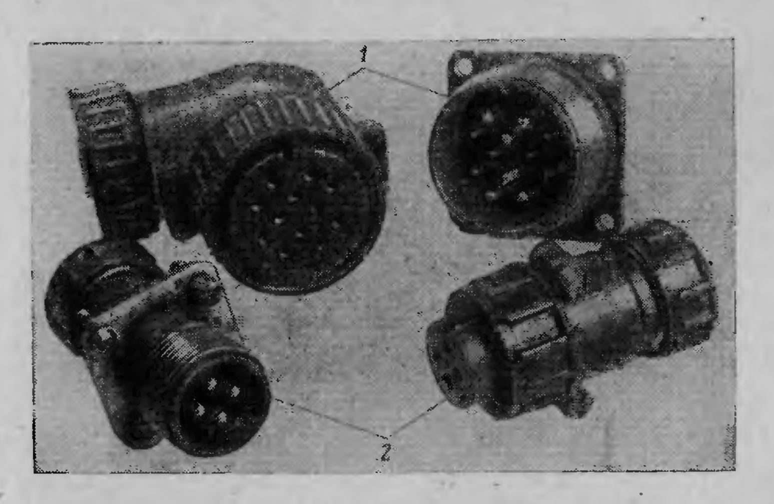


Рис. 11.25. Типы штепсельных разъемов ШР:

1 — негерметичный угловой; *2* — герметичный прямой

Предохранители предназначены для защиты электрических цепей от коротких замыканий и перегрузок. На танках применяются плавкие предохранители, представляющие собой отрезок калиброванной проволоки, рассчитанной на прохождение определенного

[1] ЛПРГСЭ — провод лакированный, с резиновой изоляцией, гибкий, самолетный, экранированный.

БПВЛЭ — провод с бумажно-полистиролвиниловой изоляцией, лакированный, экранированный.

тока. Когда величина тока, проходящего через предохранитель, превышает расчетную величину, плавкая вставка расплавляется и цепь размыкается. По конструкции плавкие предохранители (рис. 11.26), применяемые в танках, делятся на закрытые (в стеклянных трубках, рассчитанные на номинальные токи до 40 *а*) и открытые (рассчитанные на токи до 80 *а*). Эти предохранители выдерживают длительные нагрузки номинальным током; при перегрузке в 25% они расплавляются примерно через 3 *мин*, а при двукратной перегрузке — через доли секунды. В цепях с токами

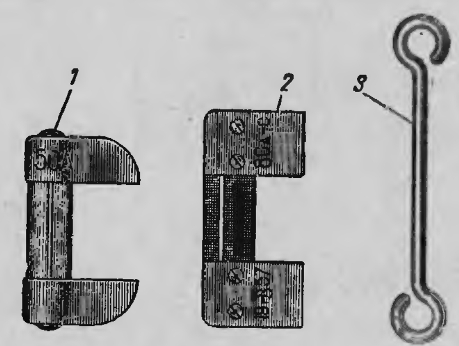


Рис. 11.26. Плавкие предохранители:
1 — закрытый плавкий предохранитель; *2* — открытый плавкий предохранитель; *3* — тугоплавкий предохранитель (плавкая вставка)

100 *а* и выше устанавливаются тугоплавкие предохранители из медных плавких вставок. Они выдерживают более высокие перегрузки.

Плавкие предохранители размещаются на распределительных щитках.

Автоматы защиты сети (АЗС или АЗР) служат для автоматического отключения потребителей при опасных перегрузках и коротких замыканиях в цепи. Автоматы предназначены для работы в цепях постоянного тока напряжением до 30 *в* при номинальных токах (соответственно исполнению) от 2 до 50 *а*.

Автоматы представляют собой комбинацию однополюсного выключателя и термобиметаллического элемента, обеспечивающего автоматическое отключение потребителя.

На рис. 11.27 показана принципиальная схема автомата защиты сети АЗР.

Принцип действия автомата основан на том, что при превышении тока больше допустимого биметаллическая пластина *7* прогибается и освобождает колодку *6*, которая под действием выключающей пружины *5* перемещается влево. Колодка своим выступом воздействует на рукоятку *1*, вследствие чего происходит размыкание контактов. Кроме того, контакты могут быть разомкнуты вручную рукояткой *1*. При этом автомат используется как обычный выключатель.

Распределительные щитки предназначены для распределения электрической энергии между потребителями и облегчения контроля за ними. Кроме того, щитки упрощают монтаж схемы и облегчают обнаружение неисправностей в электрических цепях. Как правило, электрическая энергия от источников подводится к распределительным щиткам, от которых распределяется по цепям отдельных потребителей. На панели распределительных щитков монтируются контрольно-измерительные приборы, сигнальные лампы, кнопки, выключатели и предохранители.

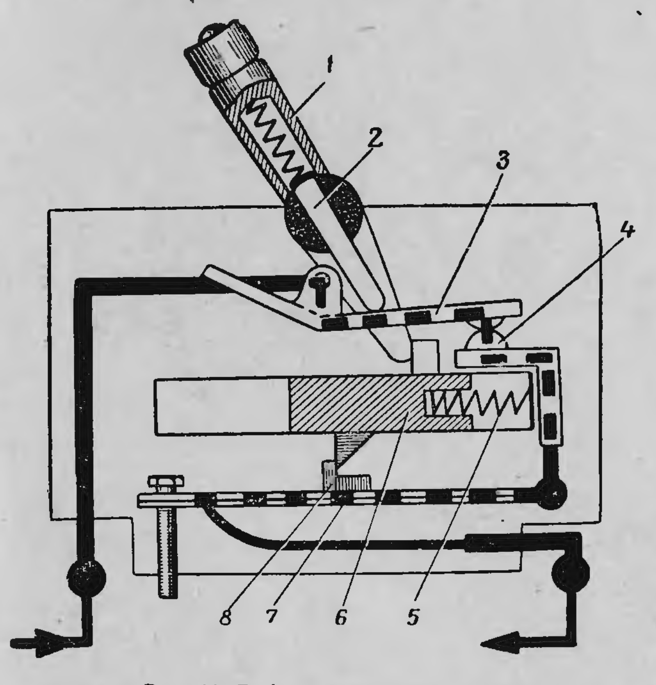


Рис. 11.27. Автомат защиты сети:
1 — рукоятка; *2* — нажим; *3* — подвижный контакт; *4* — неподвижный контакт; *5* — выключающая пружина; *6* — колодка; *7* — биметаллическая пластина; *8* — угольник

В танке устанавливается несколько распределительных щитков, в том числе главный распределительный щиток (блок защиты аккумуляторных батарей), распределительный щиток отделения управления, распределительный щиток башни.

Снижение уровня радиопомех. При работе системы электрооборудования создаются помехи радиоприему. Источником этих помех является искрение на щетках электрических машин, контактах реле-регулятора и т. д. При искрении возникают разряды в многочисленных паразитных колебательных контурах. Эти разряды создают электромагнитные колебания высокой частоты, которые индуктируют в цепях, связанных с радиоприемником, напряжения помех.

Для уменьшения уровня радиопомех необходимо тщательно экранировать приборы и провода системы электрооборудования, надежно соединяя экраны и металлическую оплетку проводов с корпусом машины.

Кроме того, в цепи питания радиостанции необходимо включать специальные фильтры, состоящие из соединенных между собой катушек и конденсаторов.

В системах электрооборудования танков для снижения уровня радиопомех применяются электрические фильтры.

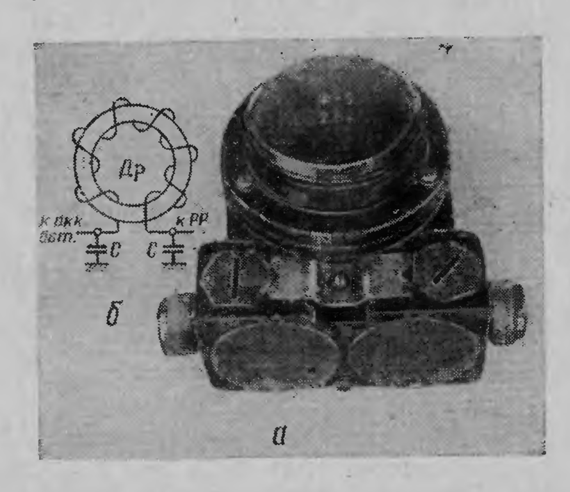


Рис. 11.28. Общий вид (*а*) и электрическая схема фильтра Ф-5 (*б*):
Др — дроссель; С — конденсатор

На рис. 11.28 показаны общий вид и электрическая схема фильтра Ф-5. Фильтр Ф-5 состоит из дросселя Др и двух проходных конденсаторов *С*, соединенных по П-образной схеме. Фильтр включается последовательно между реле-регулятором и бортовой сетью. Работа фильтра основана на использовании свойств дросселей и конденсаторов в цепи переменного тока высокой частоты. Дроссели оказывают большое индуктивное сопротивление переменному току, поэтому переменные токи высокой частоты не проходят через дроссель, а замыкаются через конденсаторы на корпус машины, минуя провода системы электрооборудования и не достигая, таким образом, приемника радиостанции.

ОГЛАВЛЕНИЕ